

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Abschlussbericht

für den Berichtszeitraum

01.05.2021 - 30.04.2024

zum Vorhaben

Intelligente Bodenstation für Flugerprobung und Forschung



Zuwendungsempfänger:	Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig
Teilvorhaben:	iBos – Display und Server (DS)
Förderkennzeichen:	20Q1934B
Laufzeit des Vorhabens:	01.05.2021 - 30.04.2024
Erstellungsdatum:	07.10.2024
Referenznummer:	iBos_Abschlussbericht_2024_IFF
Projektleiter:	Dr. Ulf Bestmann
Berichtersteller:	Andreas Dekiert u. Carl-Simon Sandvoß

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	5
Abkürzungsverzeichnis.....	6
1 Struktur und Planung	7
1.1 Gesamtziel des Vorhabens und Projektidee	7
1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	9
1.3 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen	9
1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens.....	10
1.4.1 Zeitplanung.....	10
1.4.2 Meilensteinplanung.....	12
1.4.3 Arbeitsplanung.....	12
1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	13
1.5.1 Informations- und Patentrecherche.....	14
1.5.2 Fachliteratur.....	14
1.6 Zusammenarbeit mit Dritten.....	15
2 Erzielte Ergebnisse.....	16
2.1 Kurzfassung der Arbeitspakete	16
2.2 Arbeitspaket 1.1.....	18
2.2.1 Überblick	18
2.2.2 Anforderungen.....	19
2.3 Arbeitspaket 1.2.....	20
2.4 Arbeitspaket 2.1.....	20
2.4.1 Datenbankwächter.....	21
2.4.2 Server zum Rechtemanagement	25
2.4.3 Client-Module zur Anbindung des Rechtemanagements sowie des Datenbankzugriffsmoduls	26
2.5 Arbeitspaket 2.2.....	26
2.6 Arbeitspaket 2.3.....	26
2.7 Arbeitspaket 2.4.....	32
2.8 Arbeitspaket 2.5.....	33
2.9 Arbeitspaket 3.1.....	35
2.10 Arbeitspaket 3.2	37

2.11	Arbeitspaket 3.3	39
2.12	Arbeitspaket 4.1	40
2.13	Arbeitspaket 4.2	40
2.14	Arbeitspaket 4.3	40
2.15	Relevante Ergebnisse Dritter.....	41
3	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	42
4	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	43
5	Nutzen und Verwertbarkeit.....	44
5.1	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen	44
5.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten	44
5.3	Wissenschaftlich/technische Erfolgsaussichten	44
5.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit.....	45
5.5	Veröffentlichungen und Vorträge	45
6	Zusammenfassung	46
7	Verwendete Fachliteratur	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Arbeitspaketstruktur des Verbundvorhabens	7
Abbildung 1.2: Balkenplan	11
Abbildung 2.1: Datenorganisationsschema	23
Abbildung 2.2: Konfigurationsdialog für ein Graph Tile. Die Definition von Titel, Beschriftungen und Kurven erfolgt mittels TypeScript Formeln.....	28
Abbildung 2.3: Dashboard mit Graph, Map und Status Tiles	29
Abbildung 2.4: Analysemodul mit Skript zur simplen Auswertung eines Stall-Versuchs	31
Abbildung 2.5: Benutzerverwaltung innerhalb der Ground Station UI.....	32
Abbildung 2.6: Pilot's View der Flight-Test-Seite während eines aktiven Manövers. Mittels der "SUCCESS" und "FAIL" Knöpfe kann die Beendigung des Manövers signalisiert werden. Die rote Nachrichtenbox signalisiert, dass eine ungelesene Nachricht auf Bestätigung wartet.	38
Abbildung 2.7: Normal View der Flight-Test-Seite zum gleichen Zeitpunkt wie in vorherige Abbildung. Auf der rechten Seite ist zusätzlich das Protokoll aller Piloten-Aktionen sichtbar und das Textfeld um dem Piloten eine Nachricht zu senden.....	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Meilensteine	12
Tabelle 1.2: Arbeitsfortschritt	13
Tabelle 2.1: Metadatentypen.....	22

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
D	Deliverable
DeKoM	Dezentralisiertes kontextsensitives Messsystem zur Flugerprobung
DS	Display und Server
HAP	Hauptarbeitspaket
iBos	Intelligente Bodenstation für Flugerprobung und Forschung
IFF	Institut für Flugführung
LuFo	Luftfahrtforschungsprogramm
MS	Meilenstein
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
SPA	Single Page Application
UAS	Unmanned Aircraft System

1 Struktur und Planung

1.1 Gesamtziel des Vorhabens und Projektidee

Dieses Dokument ist der Abschlussbericht des Instituts für Flugführung (IFF) der Technischen Universität Braunschweig für das LuFo VI-1-Teilvorhaben Intelligente Bodenstation für Flugprobung und Forschung (iBos) – Display und Server (DS) für den Berichtszeitraum vom 01.05.2021 bis zum 30.04.2024. Die folgende Abbildung zeigt die Arbeitspaketstruktur des Verbundvorhabens iBos. Arbeitspakete, an denen das IFF beteiligt ist, sind mit einem roten Quadrat versehen.

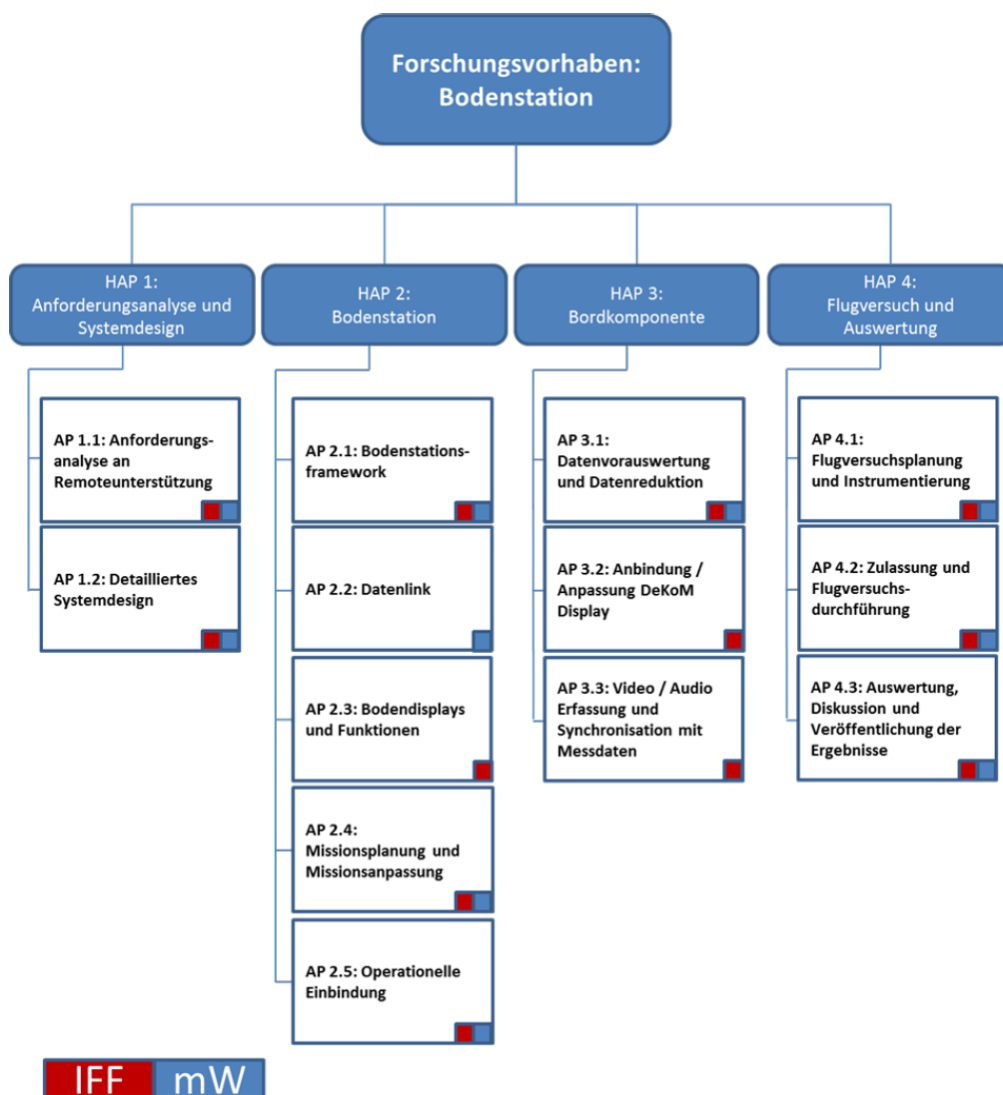


Abbildung 1.1: Arbeitspaketstruktur des Verbundvorhabens

Für das Gesamtverständnis von Flugzeugen ist deren Erprobung in Boden- und Flugversuchen eine elementare Voraussetzung. Flugversuche können eine hohe Komplexität aufweisen, die vom Testpiloten nicht überblickt werden kann, da dieser mit der Aufgabe des Fliegens und der Beobachtung des Flugzeuges und seiner Umgebung ausgelastet ist. Weitere Aufgaben stellen ein Risiko für Pilot, Umwelt und Maschine dar. Zunehmend werden auch kleine Fluggeräte erprobt, die keine weiteren Passagiere (Flugversuchingenieure) zulassen oder ebenfalls ohne Pilot (RPAS/UAS) betrieben werden.

Für komplexe Versuche werden spezialisierte Bodenstationen für die Flugerprobung benötigt, in denen alle Betriebsparameter und Messwerte der umfangreichen Erprobungssensorik während des Flugversuchs analysiert werden können. Ein Beispiel hierfür sind Flugschwingversuche. Zur Übertragung aller Messdaten ist eine sehr komplexe und extrem kostenintensive Telemetrie erforderlich, die üblicherweise ausschließlich bei Großflugzeugprojekten (z.B. Airbus) Einsatz findet. Für den Einsatz in kleinen Forschungsflugzeugen und Kleinflugzeugen ist diese zu kostenintensiv. Die Telemetrieverbinding stellt meist einen Flaschenhals für die Datenübertragung dar. Um dieser Herausforderung zu begegnen, sollen die Daten an Bord des Flugzeugs auf intelligente Weise aufbereitet und reduziert werden und nur an die Bodenstation übertragen werden, wenn diese dort benötigt werden. Daneben muss das System in den Arbeitsablauf und die Flugversuchsdurchführung operationell eingebunden werden, um einen Mehrwert zu generieren. Dies umfasst die Planung, Durchführung und Auswertung der Flugversuche. Ebenfalls muss untersucht werden, wie Änderungen des Flugversuchsablaufs, die aus Erkenntnissen am Boden gewonnen werden, in den Flugversuchsplan übernommen werden können.

In dem Verbundvorhaben iBos entwickelte das Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig zusammen mit der messWERK GmbH eine spezialisierte Bodenstation, die auf intelligente Weise die Durchführung von Flugversuchen für die Flugerprobung und Forschung unterstützt. Das iBos-System setzt sich aus einer Bordkomponente und einer Bodenkomponente zusammen. Die Bodenkomponente besteht aus einem Datenserver, der die Kommunikation über die Telemetriestrecke kontrolliert und mit der Bordseite aushandelt, welche Daten von dieser übertragen werden sollen. Diese Daten werden den Nutzern (Clients) zur Analyse zur Verfügung gestellt. Die Clients können Anforderungen an den Server senden, der diese prüft (Rechte Management) und an das Flugzeug weiterleitet. Das Bordsystem nimmt die Anforderungen entgegen und reagiert, indem es die gewünschten Daten an die Bodenstation sendet oder weitere Aktionen wie den Start eines speziellen Messvorgangs oder Manövers an Bord ausführt. Diese modulare Architektur bietet viele Vorteile, wie die Anpassung an unterschiedliche Messsysteme, die Möglichkeit Messingenieure an verteilten Arbeitsplätzen einzusetzen und die Telemetriebodenstation flexibel und unabhängig von den Arbeitsplätzen auch im Feld zu positionieren. Das System wurde im Rahmen von iBos prototypisch entwickelt und anhand von Labor- und Flugversuchen untersucht.

Zusammengefasst wurden folgende Ziele verfolgt:

- Entwicklung eines spezialisierten Telemetrie- und Datenmanagementsystems für Flugversuche mit Kleinflugzeugen
- Einbindung von Datenaufzeichnungen und Liveauswertung in die Flugerprobung und wissenschaftliche Flugversuche zur synchronisierten Auswertung
- Untersuchung der operationellen Einbindung von über Telemetrie eingebundenen Testingenieuren in der Erprobung von Kleinflugzeugen und UAS/RPAS mit Blick auf Situationsbewusstsein, Arbeitslast, Sicherheit, Transparenz und Entscheidungsfindung

Das IFF leistete zu allen genannten Bereichen Beiträge, insbesondere im Bereich der Bodenkomponente und den Bereichen Displayentwicklung, Missionsplanung, operationelle Einbindung und Bilddatenerfassung auf der Bordseite.

1.2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Bei iBos handelt es sich um ein Verbundvorhaben im Rahmen des Luftfahrtforschungsprogramms (LuFo) VI-1 mit den beiden folgenden beteiligten Partnern:

- messWERK GmbH für Mess- und Anzeigetechnik (Verbundführer)
- Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig

Die Firma messWERK wurde als KMU mit Selbstbeteiligung, das Institut für Flugführung als universitäre Einrichtung zu 100% vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Verwaltet wurde das Vorhaben vom Projektträger Luftfahrtforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

1.3 Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Das IFF unterstützte messWERK in iBos in den F&E Tätigkeiten durch Expertise in den Bereichen Flugmesstechnik, Flugversuchen, Cockpit-Displaygestaltung und Messdatenanalyseverfahren. Die Aufgaben sind die Entwicklung von Software zur Messdatenaufbereitung, Verarbeitung und Übertragung, sowie Visualisierung. Mit dem Beitrag wurden die Gesamtsystemfähigkeit (Ziel 4), sowie die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Luftfahrt (Ziel 3) durch Erhöhung des Wissensgewinns im Rahmen von Flugerprobungen gesteigert. Die Maßnahmen trugen dazu bei, die Möglichkeiten bei der Erprobung von kleinen bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen zu steigern und damit das Verständnis und die Gestaltungsfähigkeit von Luftfahrzeugen und ihren Komponenten zu steigern. Damit wurden wichtige Ziele zum Erhalt und Ausbau der Konkurrenzfähigkeit der deutschen Ausrüster- und Zulieferindustrie verfolgt. Das IFF bildete während des Projektes qualifizierte Nachwuchskräfte im MINT-Bereich aus und trug damit dazu bei, das Wachstumspotenzial der Luftfahrtbranche zu sichern.

1.4 Planung und Ablauf des Vorhabens

1.4.1 Zeitplanung

Das Verbundvorhaben war für eine Dauer von drei Jahren konzipiert; es ist zum 01.05.2021 gestartet und zum 30.04.2024 erfolgreich abgeschlossen worden. Abbildung 1.2 enthält eine Übersicht über den – gegenüber dem Antrag leicht angepassten – zeitlichen Ablauf des Projektes. Die Anpassung betraf eine zeitliche Verschiebung der ersten und zweiten Flugversuchskampagnen, hervorgerufen durch technische Probleme mit der durch den Projektpartner messWERK beschafften Telemetrieanlage. Zur Lösung derer musste die Anlage zwecks Reparatur an den Hersteller gesendet werden. Es war möglich Arbeiten in anderen Arbeitspaketen vorzuziehen, so dass keine zeitliche Verzögerung des Gesamtprojektes entstand.

1.4.2 Meilensteinplanung

Gegenüber dem Projektantrag erfolgte in Absprache mit dem Projektträger, terminfindungsbedingt, lediglich eine geringfügige Verschiebung des Mid-Term-Review. Das Projektabschlussmeeting wird in Absprache mit dem Projektpartner und dem Projektträger terminiert.

Meilenstein		Fälligkeit	Fälligkeit (angepasst)
MS1	Kick-Off	07/2021	-
MS2	Critical Design Review (CDR)	10/2021	-
MS3	Mid-Term Review	10/2022	01/2023
MS4	Test Readiness Review (TRR)	11/2023	-
MS5	Projektabschlussmeeting	2024	

Tabelle 1.1: Meilensteine

1.4.3 Arbeitsplanung

Die Projektarbeiten gliederten sich entsprechend Abbildung 1.1 in die vier Hauptarbeitspakete „Anforderungsanalyse und Systemdesign“, „Bodenstation“, „Bordkomponente“ und „Flugversuch und Auswertung“, welche in Gänze in Kooperation zwischen beiden Projektpartnern bearbeitet wurden.

In Tabelle 1.2 sind die vom Institut für Flugführung bearbeiteten Arbeitspakete gelistet. Zum Projektabschluss konnten alle Arbeitspakete fristgerecht, erfolgreich abgeschlossen werden.

Arbeitspaket		Fortschritt
HAP 1: Anforderungsanalyse und Systemdesign		
AP 1.1	Anforderungsanalyse an Remoteunterstützung	100%
AP 1.2	Detailliertes Systemdesign	100%
HAP 2: Bodenstation		
AP 2.1	Bodenstationsframework	100%
AP 2.3	Bodendisplays und Funktionen	100%
AP 2.4	Missionsplanung und Missionsanpassung	100%
AP 2.5	Operationelle Einbindung	100%
HAP 3: Bordkomponente		
AP 3.1	Datenvorauswertung und Datenreduktion	100%
AP 3.2	Anbindung/Anpassung DekoM Display	100%
AP 3.3	Video/Audio Erfassung und Synchronisation mit Messdaten	100%
HAP 4: Flugversuch und Auswertung		
AP 4.1	Flugversuchsplanung und Instrumentierung	100%
AP 4.2	Zulassung und Flugversuchsdurchführung	100%
AP 4.3	Auswertung, Diskussion und Veröffentlichung der Ergebnisse	100%

Tabelle 1.2: Arbeitsfortschritt

1.5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Die Firma messWERK ist der führende Anbieter für Flugversuchsmesstechnik im Kleinflugzeugmarkt in Deutschland und Anrainerstaaten. Durch eigene Forschung und Entwicklung wird angestrebt den Maßstab für Messtechnik in Kleinflugzeugen stetig neu zu definieren. Das IFF betreibt seit vielen Jahrzehnten Forschungsflugzeuge die im Bereich der metrologischen Messtechnik und flexiblen Erprobung von Navigations- und Flugführungsverfahren einen Spitzenplatz einnehmen. Hierzu wird kontinuierlich an der Weiterentwicklung der Sensorik und Messsysteme geforscht.

In dem vorhergehenden Vorhaben DeKoM entwickelten messWERK und das IFF ein durchgängiges Unterstützungssystem für die Flugversuchsdurchführung und den Piloten bei der Erprobung von Kleinflugzeugen. Diese Entwicklung wurde in iBos aufgegriffen und durch ein Telemetrie System erweitert, welches Flugversuchspersonal am Boden in die Lage versetzt die Durchführung der Flugversuche zu überwachen und unterstützen. Derartige Systeme sind aktuell nur aus dem Bereich der Flugzeuge für die kommerzielle und militärische Luftfahrt bekannt und wurden im Bereich der Kleinflugzeuge bislang nur sporadisch in Sonderfällen eingesetzt. Fortschritte im Bereich der digitalen Funkstrecken ermöglichen nun auch relevante Datenmengen bei geringen Sendeleistungen und damit

mittels in Kleinflugzeugen einsetzbaren Telemetriesystemen über sinnvollen Distanzen zu übermitteln.

Das Institut für Flugführung (IFF) der TU Braunschweig wird von Prof. Dr.-Ing. Peter Hecker geleitet und bearbeitet mit ca. 50 wissenschaftlichen Angestellten Forschungsaufgaben in den Bereichen Navigation (Satelliten-, Inertial- und Hybridnavigation), Luftverkehrsführung (Piloten- und Lotsenassistenz, kooperative Verkehrssysteme und Luftverkehrssimulation), Flugmesstechnik (Betrieb Forschungsflugzeuge und Messsensorik für Flugzeuge der Allgemeinen Luftfahrt) sowie Flugmeteorologie (Betrieb unbemannter Forschungsflugzeuge für meteorologische Messungen, Wind-LIDAR und helikoptergestützter Messträger HELIPOD). Neben Lehr- und Vorlesungsangeboten in den bereits aufgezählten Forschungsfeldern werden Vorlesungen in den Bereichen luftfahrtspezifische Zertifizierung, Avioniksysteme, Satellitennavigation, Flugmechanik und Flugregelung u. A. angeboten.

Das Institut verfügt über mehrere Jahrzehnte Erfahrung in dem Betrieb von verschiedenen Forschungsflugzeugen und der Durchführung von Flugversuchen mit diesen und anderen Luftfahrzeugen. Dazu gehören ebenfalls eine Vielzahl unterschiedlicher UAS.

Das Institut für Flugführung betreibt derzeit ein eigenes Forschungsflugzeug vom Typ Cessna. Durch den umfangreichen Flugversuchsbetrieb verfügt das IFF über langjährige praktische Expertise im Bereich der Forschungsflyerei, der Zulassung von Versuchseinbauten und der Flugerprobung. Der Einsatz hochwertiger Messsysteme gehört zu den Kernkompetenzen des Instituts. Die Piloten des Instituts sind erfahrene Experten in der Durchführung von Flugversuchen der Erprobung experimenteller Flugsysteme und Flugzeugtypen. Im gemeinem Vorhaben iBos wurde die Expertise des IFF mit der Firma messWERK geteilt um mehrere erfolgreiche Flugversuchskampagnen mit dem vom Projektpartner betriebenen Flugversuchsträger durchzuführen.

Das IFF beschäftigt sich seit vielen Jahren mit dem Thema Visualisierung von Flugversuchsmessdaten. So wurde bereits 2004 in den Vorhaben UniTaS III ein System zur flexiblen Darstellung von Flugversuchsdaten und Flugzustandsdaten entwickelt und mit einem Preis der DGLR ausgezeichnet. Dieses System wurde in dem Vorhaben UniTaS IV zu einem experimentellen Trainingssystem für Piloten weiterentwickelt und seitdem für die Visualisierung von Flugversuchsdaten genutzt. In den Vorhaben ANKommEn und VaMEx CoSMiC wurden spezialisierte Bodenstationen für die Kontrolle von UAV Schwärmen entwickelt und in dem Vorhaben DeKoM wurde ein System für die Planung von Flugversuchen und flugzeugseitige Unterstützung von Testpiloten entwickelt. Diese Erfahrungen und Entwicklungen wurden in iBos eingebracht und weiterentwickelt.

1.5.1 Informations- und Patentrecherche

Es wurden keine Schutzrechte Dritter verwendet oder bekannt die der anschließenden Verwertung entgegenstehen.

1.5.2 Fachliteratur

Weitere, verwendete Fachliteratur ist im Literaturverzeichnis zu finden (siehe Kapitel 7).

1.6 Zusammenarbeit mit Dritten

Während der gesamten Projektlaufzeit gab es keine Zusammenarbeit mit Stellen außerhalb dieses Verbundes, bestehend aus der messWERK GmbH für Mess- und Anzeigetechnik (Verbundführer) und dem Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig.

2 Erzielte Ergebnisse

2.1 Kurzfassung der Arbeitspakete

Nachfolgend werden die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse des Gesamtprojekts zusammenfassend dargestellt. Eine ausführlichere Beschreibung der erzielten Ergebnisse in den einzelnen Arbeitspaketen kann den nachfolgenden Unterkapiteln entnommen werden.

Arbeitspaket 1.1

- Anforderungsanalyse durchgeführt
- Anforderungen aufgestellt
- Zuarbeit bei allen Arbeitspunkten durch Projektpartner messWERK

Arbeitspaket 1.2

- Zuarbeit bei allen Arbeitspunkten zu Projektpartner messWERK

Arbeitspaket 2.1

- Recherche zu Datenbanksystemen und Kommunikationsprotokollen durchgeführt
- Datenbanksysteme ausgewählt und aufgesetzt
- Client-Server-Architektur zur Daten- und Nutzerverwaltung implementiert
- System zur Datenflusssteuerung entwickelt
- Datenmanagementsystem implementiert
- Generische Schnittstellen implementiert
- Gemeinsame Bearbeitung aller Arbeitspunkte mit Projektpartner messWERK

Arbeitspaket 2.2

- Das Arbeitspaket wurde ausschließlich durch den Projektpartner messWERK bearbeitet.

Arbeitspaket 2.3

- Generische Clients zur Datenanbindung
- Als Single Page Application (SPA) implementiert
- Datenexplorer zur Auswahl der Datenströme
- Nutzer-, Berechtigungs-, Dashboard-Verwaltung und -bearbeitung implementiert
- Generische Graphen implementiert
- Statusdisplays, Tabellen, virtuelle Cockpitinstrumente, spezialisierte Darstellungen implementiert
- Kartendarstellung implementiert
- Analysemodul zur skriptbasierten Auswertung der Rohdaten
- Hilfsbibliothek bei Auswertung und Berechnung

Arbeitspaket 2.4

- Planung der Missionen und Generierung der Testkarten unter Zuhilfenahme von DeKoM
- Anpassung der Missionen durch Gesamtübersicht im Bodensegment
- Veränderung der Manöverreihenfolge als einfachste Option
- Weitere Möglichkeiten Vorziehen von Manövern aus späteren Flügen und Modifikation der Testkarten zur Versuchslaufzeit
- Wichtig: Klare Kommunikation mit dem Piloten über Audio- bzw. Textnachrichten

Arbeitspaket 2.5

- Darstellung der Einbindung exemplarisch aus der Bodensicht
- Planung und Briefing über generierte Testkarten
- Vorbereitung der Bodenstationsdisplays vor dem Flug auf Basis bestehender Implementierungen unter der Berücksichtigung späterer Kooperation
- Überwachung der Flugablaufs auf Basis der Telemetriedaten
- Vorschläge für Veränderung der Manöverreihenfolge unterbreiten
- Manöver bewerten und ggf. Wiederholungen empfehlen
- Daten in separater Datenbank archivieren

Arbeitspaket 3.1

- Gemeinsame Bearbeitung aller Arbeitspunkte mit Projektpartner messWERK
- Datenreduktion durch Zusammenspiel verschiedener Punkte im Gesamtsystem
- Datenmengenreduktion während der Übertragung auf 18%
- Selektive Übertragung von Daten auf Basis von Expertenwissen und Anpassung an aktuelle Flugversuche
- Datenmengenreduktion durch Downsampling oder Überführung in den Frequenzbereich
- Anpassung der Datenmenge an den Zustand der Telemetriestrecke

Arbeitspaket 3.2

- Darstellung von Flugversuchsauftrag und Flugversuchskarten aus DeKoM
- Synchronisierung der Darstellung zwischen Pilot und Bodenpersonal
- Protokollierung von Manöverbeginn, -Ende und Erfolg/Nichterfolg
- Protokollierung von Flugversuchskarten- und Manöverauswahl durch den Piloten
- Einwegtextkommunikation zwischen berechtigtem Flugversuchingenieur am Boden und Pilot

Arbeitspaket 3.3

- Kommunikationsdisziplin für minimale Belastung des Piloten identifiziert und über Kommunikationsarchitektur sichergestellt.
- Verwendung einer Kommunikationsschnittstelle in der Telemetriestrecke zur Abwicklung der Kommunikation
- Nutzung erprobter Systeme zur Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit

Arbeitspaket 4.1

- Zuarbeitung bei allen Arbeitspunkten zum Projektpartner messWERK als Betreiber des Flugversuchsträgers.

Arbeitspaket 4.2

- Zuarbeitung bei allen Arbeitspunkten zum Projektpartner messWERK als Betreiber des Flugversuchsträgers.

Arbeitspaket 4.3

- Veröffentlichung bei der IEEE AeroConf 2024 vorgestellt.
- Angepasstes Konzept für eine Messkampagne mit einem UAS auf Spitzbergen genutzt.
- Nutzung für die Lehre an Bord eines Forschungsflugzeugs des IFF in Planung.

2.2 Arbeitspaket 1.1

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte eine Zuarbeit bei allen Arbeitsschritten durch den Projektpartner messWERK.

In Arbeitspaket 1.1 wurden die Anforderungen an das im Rahmen von iBos zu entwickelnde Gesamtsystem aufgestellt.

2.2.1 Überblick

Die Erprobung von Flugzeugen ist eine Voraussetzung für die Zulassung eines neuen Musters. Im Rahmen dieser Zulassung müssen zahlreiche Nachweise erbracht werden, die sich aus den zum Zeitpunkt des Baus gültigen Bauvorschriften ergeben. Für den Hersteller ist die Erprobung eines neuen Flugzeugs stets eine besondere Situation mit sehr hohem Druck von außerhalb und innerhalb des Unternehmens. Im Bereich der Kleinflugzeuge gibt es gerade in der Anfangsphase keine standardisierten Prozesse. Zudem werden am Flugzeug erfahrungsgemäß noch zahlreiche Änderungen mit mehr oder weniger großem Umfang durchgeführt, so dass das „Projekt“ somit in einem ständigen Fluss ist.

Flüge im Rahmen der Flugerprobung weisen vor allem zu Beginn eine hohe Komplexität auf; die physische und mentale Arbeitsbelastung der daran beteiligten Piloten ist enorm. Dazu kommt, dass im Bereich von Kleinflugzeugen selten professionell ausgebildete Testpiloten eingesetzt werden. Hier wird die Flugerprobung typischerweise von einem erfahrenen

Werkpiloten durchgeführt. Bei diesen Flügen müssen eine große Menge von Parametern beobachtet und dokumentiert werden. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Messtechnik auch im Bereich von Kleinflugzeugen inzwischen verbreitet, was bereits eine große Hilfe für die Piloten darstellt.

Eine weitere Unterstützung für den Piloten sowie Steigerung der Effizienz in der Flugerprobung lässt sich durch eine Vorauswertung der gewonnenen Messdaten bereits im Flug erreichen. Einerseits bekommt der Pilot dadurch eine direkte Rückmeldung über die Güte der geflogenen Manöver; andererseits kann basierend auf den Auswertergebnissen beispielsweise die Wiederholung eines Manövers schon während des aktuellen Fluges veranlasst werden, sodass kein neuer Flug erforderlich ist. Eine automatisierte Auswertung der Messdaten an Bord des Luftfahrzeugs ist – wie u.a. das LuFo V-3-Vorhaben DekoM gezeigt hat – nur sehr begrenzt möglich. Auch eine Auswertung durch den Piloten ist nicht zweckmäßig, da dieser in der Regel mit der Aufgabe des Fliegens, der Luftraumbeobachtung sowie mit der Abarbeitung der einzelnen Testpunkte ausgelastet ist. Weitere Personen befinden sich insbesondere bei Kleinflugzeugen infolge der eingeschränkten Sitzplatzkapazitäten zumeist nicht an Bord. Eine vielversprechende Maßnahme ist daher die Übertragung der Messdaten an den Boden über eine funkbasierte Telemetriestrecke und der Auswertung dieser Daten durch Ingenieure, Wissenschaftler und andere Experten an verteilten Arbeitsplätzen. Neben den reinen Messdaten können auch Bild-, Audio- und Videodaten übertragen sowie taktische Anpassungen in der Flugplanung am Boden vorgenommen und an das Luftfahrzeug kommuniziert werden.

Der Einsatz eines Telemetriesystems ist nicht auf die Flugerprobung beschränkt, sondern bringt auch bei Flügen im Rahmen der Forschung und Wissenschaft einen Mehrwert. Darüber hinaus profitieren Flugversuche mit UAVs bzw. RPASs von einem derartigen System.

2.2.2 Anforderungen

Aus den zuvor beschriebenen Überlegungen wurden die Anforderungen an das zu entwickelnde Gesamtsystem abgeleitet. Die vollständige Liste inklusive Erläuterungen kann dem Deliverable D1.1 entnommen werden. Zusammenfassend wurden Anforderungen zu den folgenden Themen definiert:

- Einsatzszenarien und Versuchsträger
- Verteilte Arbeitsplätze am Boden
- Arbeitsplätze an Bord des Luftfahrzeugs
- Rechtemanagement
- Datenhaltung der Messdaten an Bord des Luftfahrzeugs
- Übertragung von Messdaten über das Telemetriesystem
- Anforderung und Visualisierung von Messdaten
- Datenhaltung der Bild-/Audio-/Videodaten an Bord des Luftfahrzeugs
- Übertragung von Bild-/Audio-/Videodaten über das Telemetriesystem
- Anforderung und Visualisierung von Bild-/Audio-/Videodaten

- Übertragung von Daten zur Flugplanung und -durchführung über das Telemetriesystem
- Visualisierung von Daten zur und Anpassung an der Flugplanung und -durchführung
- Frequenzband des Telemetriesystems
- Sendeleistung und Kanalbreite des Telemetriesystems
- Übertragungsrichtung, Reichweite und Datenübertragungsrate des Telemetriesystems
- Installation des Telemetriesystems an Bord des Luftfahrzeugs
- Abmessungen und Gewicht des Telemetriesystems an Bord des Luftfahrzeugs
- Energieversorgung des Telemetriesystems an Bord des Luftfahrzeugs

2.3 Arbeitspaket 1.2

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte eine Zuarbeit bei allen Arbeitsschritten zum Projektpartner messWERK. Die Ergebnisse des Arbeitspaketes sind im Abschlussbericht des Projektpartners beschrieben.

2.4 Arbeitspaket 2.1

Dieses Arbeitspaket wurde in direktem Austausch mit dem Projektpartner messWERK bearbeitet. Inhalte, die schwerpunktmäßig durch den Projektpartner bearbeitet wurden, finden sich im Abschlussbericht des Projektpartners. Bei allen hier beschriebenen Arbeitsschritten erfolgte eine Zuarbeit durch den Projektpartner.

Das Ziel des Arbeitspakets 2.1 ist es, ein Softwareframework zu entwickeln, das die Datenflusssteuerung vom und zum Flugzeug übernimmt und die transportierten Daten für Client-Anwendungen vorhält. Die einzelnen dafür relevanten funktionalen Module wurden im Rahmen von Arbeitspaket 1.2 identifiziert. Sie lassen sich im Wesentlichen in zwei Bereiche gliedern. Zum einen gibt es einen inneren Teil, der die Basisfunktionen des iBos-Projekts bereitstellt und die Anbindung sowie das Management der Telemetriestrecke übernimmt. Zum anderen gibt es darauf aufbauend einen äußeren Teil, der bordseitig die Schnittstelle zur Einspeisung der Daten bereitstellt sowie bodenseitig die Schnittstelle zum späteren Nutzer bildet und sich z.B. um das Rechtemanagement etc. kümmert.

Im Rahmen der Arbeitsteilung zwischen den Projektpartnern konzentrierten sich die Arbeiten des IFF hauptsächlich auf den äußeren Teil und folgende Softwaremodule:

- Bordseitiger Datenbankwächter mit Schnittstelle zum Messsystem
- Bodenseitiger Server zum Rechtemanagement
- Clientmodul zur Anbindung des Rechtemanagements
- Clientmodul zur Anbindung des Datenbankzugriffsmoduls (Datenserver)

Die Arbeiten an den übrigen im Rahmen des Systemdesigns identifizierten Softwaremodulen wurde federführend durch messWERK durchgeführt, so dass von IFF-Seite lediglich zugearbeitet wurde. Folglich finden sich diesbezügliche Darstellungen im Abschlussbericht

des Projektpartners. Die Arbeitsinhalte des vom IFF geleisteten Teils werden im Folgenden jeweils zusammenfassend beschrieben.

2.4.1 Datenbankwächter

Zur ordnungsgemäßen und effizienten Funktion des Gesamtsystems ist es von entscheidender Bedeutung, sicherzustellen, dass die in das System eingespeisten Daten konsistent sind und dem erwarteten Umfang an Metadaten entsprechen. Nur wenn zu allen Messdaten vollständige Metadaten vorliegen, ist es bspw. möglich, in der in Arbeitspaket 2.3 entwickelten Benutzeroberfläche die Funktionalität eines Auswahlfilters zu garantieren oder ohne aufwändige Filterung die mehrfache Übertragung redundanter Messdaten über die Telemetriestrecke zu verhindern. Aus diesem Grund ist im Systemdesign ein zentraler bordseitiger Datenbankwächter vorgesehen, welcher als einziges Modul die Berechtigung besitzt in die bordseitige Datenbank zu schreiben. Demnach müssen alle Messdaten, die dem iBos-System zugeführt werden, den Datenbankwächter passieren. Dieses Modul wird unter der Bezeichnung iBos2Db entwickelt.

Um sicherzustellen, dass die an das Modul gesendeten Messdaten dem erwarteten Schema entsprechen wurde ein allgemeines Datenorganisationsschema definiert. Dieses ist weitgehend unabhängig vom später angewendeten Datenbanktyp. Das erarbeitete Schema basiert auf bisherigen Datenbanken der Projektpartner, wurde nach einer umfangreichen Recherche erarbeitet und es wurden u.a. die möglichen Metadaten und Messdatentypen definiert. Hierbei wurde die Organisation zunächst an die im Rahmen von Flugleistungsuntersuchungen erhobenen Daten adaptiert und für diese umgesetzt. Allgemein ist das gewählte Organisationsschema aber erweiterbar und kann somit ebenfalls für meteorologische Messungen bzw. gänzlich andere Themenbereiche genutzt werden.

Die übergeordneten strukturierenden Elemente der Organisation, im Folgenden „Measurements“ genannt, sind die SI-Einheiten und deren Derivativa. Jeder Messdatentyp wird anhand seiner Einheit einem Measurement zugeordnet. Nur in Ausnahmefällen, sofern eine Sortierung nach SI-Einheiten nicht sinnvoll ist, werden hiervon abweichende Gruppen erlaubt. Dies trifft beispielsweise auf einheitenlose Daten, wie etwa die Machzahl, zu. Einem Measurement können beliebig viele Messdatentypen zugeordnet sein. Die Verwendung von SI-Einheiten erscheint für einige Datentypen (z. B. Längen- und Breitengrade) zunächst wenig intuitiv. Jedoch zeigt die Erfahrung, dass eine konsequente Anwendung dieser Regel für mehr Eindeutigkeit sorgt und Missverständnissen vorbeugt.

Für die Ablage eines tatsächlichen Messwertes (Zahlenwert) wird dieser innerhalb seines Measurements in einem „Feld“ abgelegt. Dieses ist mit einem Bezeichner versehen. Die Messdatentypen innerhalb eines Measurements müssen eindeutig benannt sein. Dies führt jedoch erfahrungsgemäß sehr schnell zu unübersichtlichen Bezeichnungen, da viele Metainformationen mit im Namen abgelegt werden. Um diese Problematik zu umgehen, ist diese Praxis im erarbeiteten Organisationsschema untersagt. Die Metadaten werden stattdessen separat als so genannte „Tags“ hinterlegt. Für alle Measurements sind die gleichen Arten von Tags vorgesehen. Hierbei sind je nach Measurement nur bestimmte

Werte je nach Metadatentyp zulässig. Die Metadatentypen sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Die Quelle (src) definiert den Ursprung der Daten. Hiermit ist der Sensortyp, eine Berechnung etc. gemeint. Das Referenzsystem (ref_sys) ermöglicht die Unterscheidung verschiedener Bezugssysteme, wie beispielsweise ein erdfestes oder flugzeugfestes Koordinatensystem. Mit dem Zustand (condition) kann zwischen Rohwerten und weiter prozessierten Daten differenziert werden. Die Experiment-ID (exp_id) schafft die Möglichkeit die Messwerte einem bestimmten Experiment zuzuordnen. Außerdem lassen sich auf diese Weise in einer zusätzlichen Datenbank weitere allgemeine und mit den Messwerten verknüpfte Informationen ablegen. Die Quellen-ID (src_id) eröffnet die Option mehrere Sensoren mit gleicher Ausgabemessgröße zu unterscheiden. Dies ist bspw. der Fall bei mehreren GPS-Empfängern, die die gleiche Quelle (Sensortyp = z. B. GNSS) hätten. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit bietet die Kanal-ID (channel_id). Diese ist insbesondere dann nötig, wenn Sensoren mehrere identische Ausgänge aufweisen, wie beispielsweise Mehrkanal-A/D-Wandler. Für den Fall, dass weitere Eintragungen notwendig werden sollten, gibt es zudem IDs für nutzerspezifische Metadaten (user_id) und zugehörige Informationen (user_class). Diese sind nicht weiter spezifiziert und stellen eine Freifeld für den Anwender bzw. Messsystembetreiber, dar. Ein möglicher Anwendungsfall wäre etwa die Erfassung der Seriennummer des Sensors.

Tag	Datentyp	Forderung
src	string	soll
condition	string	soll
ref_sys	string	kann
exp_id	int	kann
src_id	int	kann
channel_id	int	kann
user_id	int	kann
user_class	string	kann

Tabelle 2.1: Metadatentypen

Durch diese Gestaltung der Metadaten können alle relevanten Informationen abgelegt werden. Auch eine Überführung in ein einfaches Tabellenformat ist nach wie vor durchführbar. Hierzu können an die Messdatennamen die jeweiligen Metadateneinträge der Reihe nach angehängt werden. Zudem besteht die Möglichkeit weiterführende Informationen in zusätzlichen Datenbanken zu hinterlegen. So können über die Experiment-ID z.B. Wetterinformationen oder die Konfiguration des Flugversuchsträgers abgespeichert werden. Auch eine Ablage von Informationen zu den einzelnen Sensoren, wie Spezifikationen, Kalibrierungszustand etc. wird ermöglicht. Das Organisationsschema schafft somit den Raum für die zukünftige Verknüpfung unterschiedlichster Daten.

Einzelne Messwerte können innerhalb der Organisation somit über einen Zeitpunkt oder Zeitraum (dann handelt es sich um eine Datenreihe), ein Measurement, eine spezifische Kombination von Tags (Metadaten) und ein Feld (Variablenname) eindeutig bestimmt werden. Innerhalb eines Measurements können beliebig viele und beliebige Kombinationen von Feldern befüllt werden. Nur in Ausnahmefällen werden Verknüpfungen erzwungen, wie beispielsweise bei der Angabe von Längen- und Breitengraden. Durch die Metadaten können einzelne Felder für einen bestimmten Zeitpunkt auch mehrfach belegt und dennoch eindeutig identifizierbar sein. Eine Visualisierung der Organisation findet sich in Abbildung 2.1.

Zur Speicherung des Datenorganisationsschemas sowie dessen Bereitstellung für iBos2Db wurde eine auf JSON basierende Dateistruktur entwickelt. In dieser ist es unter anderem möglich mittels verschachtelter, sogenannter „Value-Requirements“ die oben beschriebene Struktur der Messdaten und deren Abhängigkeiten abzubilden. So kann bspw. erfasst werden, dass eine WGS84-Position nur gültig ist, wenn sowohl Breitengrad als auch Längengrad vorhanden und gültig, d.h. die Winkel im zulässigen Intervall, sind. Ebenso werden in dieser Dateistruktur die für jeden Messdatentyp zulässigen und erforderlichen Metadaten definiert sowie die Art der physikalischen Größe und damit die verbundene SI-Einheit. Durch diese flexible und allgemein gehaltene Dateistruktur ist es möglich, den Quellcode von iBos2Db gänzlich unabhängig von Messsystemspezifika zu halten. Ein Einsatz von iBos2Db in einem anderen Messaufbau oder sogar einem Einsatzfall jenseits der Flugerprobung erfordert damit lediglich das Ersetzen der betreffenden JSON-Datei.

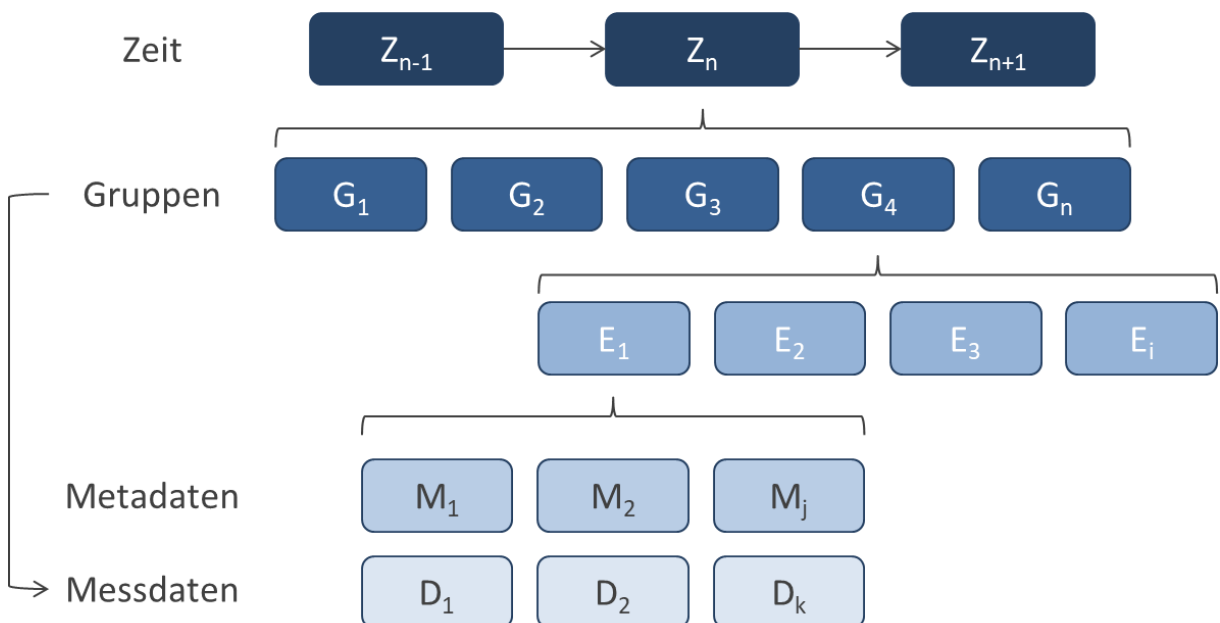


Abbildung 2.1: Datenorganisationsschema

Ausgehend von dem Datenbankschema werden die an iBos2Db gesendeten Messdaten zunächst auf Plausibilität (Ist ein zulässiger Zeitstempel vorhanden? Sind die Messgrößen

vollständig? Sind die Metadaten vollständig? etc.) überprüft. Falls erfolgreich, werden zuvor definierte Synonyme durch die im Datenbankschema definierte, datenbankkonforme Bezeichnung ersetzt. Anschließend werden in einem letzten Schritt, vor der Übertragung an die Datenbank, die Messgrößen zu SI-Einheiten umgerechnet. Messdaten, welche den Anforderungen nicht genügen bzw. dem definierten Datenbankschema widersprechen, werden nicht weiterverarbeitet und mit einer Fehlermeldung quittiert. Die Kommunikation mit der Datenbank erfolgt schließlich über eine gepufferte Implementierung, um den Kommunikations-Overhead zu minimieren. Dabei werden die Nachrichten aller Messdatenquellen gesammelt und zeit- sowie mengengetriggert gemeinsam an die Datenbankschnittstelle übertragen. Der Code ist modular aufgebaut und datenbankspezifische Implementierungen existieren lediglich in der Kommunikationsschicht.

Als Eingang für die Messdaten stellt iBos2Db sowohl UDP- als auch TCP-Schnittstellen bereit. Auf beiden Schnittstellen kommt das gleiche Google Protobuf basierte Protokoll zum Einsatz. Bei Protobuf handelt es sich um ein Werkzeug, welches es Programmierern ermöglicht lediglich das Nachrichtenformat eines Kommunikationsprotokolls zu definieren. Die Umsetzung der Definition in Quellcode zur binären Serialisierung und Deserialisierung der Nachrichten in verschiedenen Programmiersprachen wird vom sogenannten Protobuf-Compiler übernommen. Die serialisierte Form der Nachrichten nutzt ein speicheroptimiertes Binärformat, in dem lediglich notwendige Informationen übertragen werden. So werden Variablen innerhalb einer Nachricht, deren Werte dem Variablentyp spezifischen Standardwert entsprechen, gar nicht übertragen. Weiterhin werden Variablentypen höherer Kapazität abhängig ihres Wertes als Variablentyp niedrigerer Kapazität übertragen. So wird bspw. für eine Variable vom Typ Long (8-Byte) mit dem Wert 10 lediglich ein einzelnes Byte übertragen. Durch diese Optimierungen bietet das Protobuf basierte Protokoll eine sehr effiziente Datenübertragung und ist darüber hinaus mittels des Protobuf-Compilers einfach in Messdatenclients zu integrieren.

Das iBos2Db-Protokoll bietet die Möglichkeit, mittels „Fire-and-Forget“-Nachrichten einzelne Datenpunkte gemeinsam mit ihrem vollständigen Metadatenatz an iBos2Db zu senden und so in die Datenbank schreiben zu lassen. Dies ist insbesondere für niederfrequente Messdaten komfortabel und bietet clientseitig den niedrigsten Integrationsaufwand. Es liegt allerdings in der Natur der Metadaten, dass diese je Datenquelle über den Verlauf eines Experiments gleichbleiben. Demnach enthalten alle „Fire-and-Forget“-Nachrichten einer Datenquelle einen im Verhältnis zu den Messdaten relativ großen, stets identischen, Metadatenblock. Um die dadurch entstehende, insbesondere bei hochfrequenten Messdaten schädliche, Ineffizienz zu vermeiden, besteht die Möglichkeit zur Metadaten-Registrierung. Dabei meldet ein Messdatenclient einen Metadatenatz bei iBos2Db an und erhält im Gegenzug eine eindeutige ID. Alle zukünftigen Messdaten können nun mit dieser ID als Metadatenersatz an iBos2Db gesendet werden. Dieser prüft in dem Fall nur noch die Messdaten auf Plausibilität, führt die Konvertierung in SI-Einheiten durch und sendet die mit den zuvor registrierten Metadaten angereicherten Messdaten an die Datenbank.

Zur Überwachung des Systemzustands ist es möglich, dass sich Clients bei iBos2Db zum Empfang von Status- und Fehlermeldungen anmelden. Nach erfolgter Anmeldung sendet

iBos2Db dann per UDP die Status- und Fehlermeldungen oberhalb des gewünschten Schweregrades (verbose/ausführlich bis kritisch) an die entsprechenden Clients. Daneben erfolgt stets eine lokale Protokollierung in einer Log-Datei. Auf diese Weise ist es möglich, insbesondere während der Erstinbetriebnahme eines neuen Messsystems, die Gründe für möglicherweise aufgrund von Nichtkonformität verworfenen Messdaten zu recherchieren und entsprechende Korrekturmaßnahmen zu ergreifen.

2.4.2 Server zum Rechtemanagement

Es soll ein Rechtemanagement beim Zugriff auf die Messdaten erfolgen. Zu diesem Zweck wurde ein bodenseitiger Server implementiert, welcher zugleich als primäre Gegenstelle für die in Arbeitspaket 2.3 entwickelte Benutzerschnittstelle dient. Demnach stellt das Rechtemanagement ein Submodul des unter der Bezeichnung Ground Station API entwickelten Moduls dar. Dieses Modul besitzt eine von den Messdaten getrennte Datenbank in der unter anderem die für dieses Arbeitspaket relevanten Benutzer gespeichert werden. Gegenwärtig werden zwei Kategorien von Benutzern unterstützt: Administratoren sowie Flugversuchingenieure. Abhängig von der Kategorie besitzen die Benutzer unterschiedliche Berechtigungen. So können bspw. einige in Arbeitspaket 2.3 implementierten API-Endpunkte nur von Administrator-Benutzern bedient werden. Falls ein API-Endpunkt unauthentifiziert oder durch einen Benutzer mit nicht ausreichenden Berechtigungen bedient wird, so wird dies mit einer Fehlermeldung quittiert.

Neben der Benutzerkategorie sind jedem Benutzer ein eindeutiger Anmeldename, ein frei wählbarer Anzeigename sowie ein Passwort zugeordnet. Zur Authentifizierung stellt die API einen Endpunkt bereit, bei dem sich ein Client mittels Anmeldename und Passwort anmelden kann. Bei Erfolg antwortet der Server mit einem generischen Zufallstoken. Dieser Token ist an den Anmeldename sowie die IP-Adresse, von der die Anfrage kam, gebunden. Anschließende Anfragen des Clients an API-Endpunkte mit Authentifizierungszwang erfolgen daraufhin stets unter Mitteilung des Tokens. Zur Abmeldung des Clients dient ein weiterer API-Endpunkt mittels dem der entsprechende Token serverseitig invalidiert wird. Im Falle einer fehlerhaften Authentifizierung, d.h. der Bedienung eines API-Endpunktes mittels ungültigem Token oder für die verwendete IP-Adresse ungültigem Token, werden alle Tokens des betreffenden Benutzers für ungültig erklärt und alle zuvor angemeldeten Clients müssen sich mittels Benutzername und Passwort erneut anmelden.

Weitere API-Endpunkte erlauben das Abrufen der eigenen Benutzerdaten sowie Administratoren die Änderung der Benutzerdaten, das Anlegen und Löschen von Benutzern und das Auflisten aller im System registrierten Benutzerkonten.

Zur Integrierung weiterer Module wird darüber hinaus ein API-Endpunkt bereitgestellt, mittels dessen Token verifiziert werden können. Damit wird es, ansonsten von der Ground Station API unabhängigen, Modulen ermöglicht ebenfalls den oben beschriebenen Authentifizierungsmodus zu implementieren und an das gemeinsame Rechtemanagement angebunden zu werden.

2.4.3 Client-Module zur Anbindung des Rechtemanagements sowie des Datenbankzugriffsmoduls

Das vom IFF verantwortete Softwaremodul mit Schnittstelle als Client zum Rechtemanagement sowie zum Datenbankzugriffsmodul ist in Gestalt der Benutzeroberfläche und Bodendisplays primär in Arbeitspaket 2.3 zu verorten. Als Teil dieses Arbeitspakets sind Submodule entstanden, welche die Anbindung der entsprechenden APIs kapseln. Da die Benutzeroberfläche in Arbeitspaket 2.3 als Webanwendung entwickelt wird, erfolgte die Implementierung in Typescript. Die Submodule stellen innerhalb der Codebasis der Webanwendung eigenständige Einheiten dar, welche bei Bedarf extrahiert und in anderen Typescript-Anwendungen eingesetzt werden könnten. Aufgrund der Charakteristiken von Webanwendungen und skriptbasierten Programmiersprachen handelt es sich nicht um klassische, kompilierte Bibliotheken.

Um die zukünftig eventuell erforderliche Einbindung weiterer Module zu erleichtern, wurden sowohl für die Ground Station API durch das IFF als auch für den Datenserver durch messWERK Swagger basierte API-Dokumentationen erstellt. Dabei handelt es sich um eine übersichtliche Darstellung aller Endpunkte und verwendeten Schemata einer API als eigenständige Website. Diese bietet darüber hinaus die Möglichkeit, zu Testzwecken, Anfragen direkt an die API zu senden, was insbesondere während der Anbindung neuer Module, aber auch während der API-Entwicklung selbst, nützlich ist.

2.5 Arbeitspaket 2.2

Dieses Arbeitspaket wurde ausschließlich durch den Projektpartner messWERK bearbeitet und wird in dessen Abschlussbericht beschrieben.

2.6 Arbeitspaket 2.3

Im Rahmen des Arbeitspakets 2.3 werden die Bodendisplays entwickelt. Dabei handelt es sich um die primäre Schnittstelle zur Bedienung des iBos-Gesamtsystems. Eine der Hauptanforderungen an das System ist es, die parallele Verwendung durch mehrere Flugversuchingenieure zu ermöglichen. Weiterhin soll eine möglichst große Flexibilität hinsichtlich der verwendeten Displayhardware bzw. Endgeräte erreicht werden. Um diese Ziele zu gewährleisten, wurde die Entscheidung getroffen, die Bodendisplay-Software als Single-Page-Webapplikation zu realisieren. Dabei handelt es sich um ein Programm, welches wie eine klassische Website in jedem Webbrowser ausgeführt werden kann. Jedoch erfolgt die Kommunikation mit dem Server im Hintergrund, während sich die angezeigte Benutzeroberfläche wie bei einem klassischen Clientprogramm der aktuellen Situation anpasst ohne dass die Website neu geladen wird. Dadurch wird der Vorteil der Plattformunabhängigkeit von Websites mit der Performance und dem Bedienkomfort einer nativen Benutzeroberfläche kombiniert.

Die Entwicklung der Single-Page-Webapplikation (SPA) erfolgt mittels des Frameworks React und dem Carbon Designsystem von IBM. Bei beiden handelt es sich um Open-

Source-Bibliotheken, welche entsprechend ihrer Lizenzen auch in kommerziellen Produkten verwendet werden dürfen. Durch die Verwendung dieser Bibliotheken wird die Effizienz während der Entwicklung deutlich gesteigert und es kann eine Konzentration des Entwicklungsaufwands auf die Implementierung iBos-spezifischer Funktionalitäten erfolgen. Als Kommunikationsgegenstelle der clientseitig ausgeführten SPA dient in erster Linie die in Arbeitspakt 2.1 bereits erwähnte Ground Station API. Die SPA wird, daran angelehnt, unter dem Arbeitstitel Ground Station UI entwickelt. Neben dem Rechtemanagement übernimmt die API auch das Speichern der Nutzerkonfigurationen sowie allgemeiner Konfigurationsparameter. Zu letzteren zählen bspw. auch die Verbindungseinstellungen mit denen sich die Ground Station UI / SPA mit dem von messWERK in Arbeitspaket 2.2 entwickelten Datenserver verbindet. Um unnötigen Datenverkehr zwischen den beteiligten Komponenten zu vermeiden, werden die anzuzeigenden Flugversuchsdaten durch jeden Client direkt beim Datenserver abgerufen und nicht bei der Ground Station API als Proxy.

Grundsätzlich ist es möglich in der Ground Station UI eine beliebige Anzahl Dashboards zu erstellen und in Kategorien zu organisieren. Es existieren zwei Klassen von Dashboards: „geteilte“ sowie „persönliche“. Jedes Dashboard setzt sich wiederum aus einer beliebigen Anzahl an Kacheln zusammen. Diese können als Graphen, Statusdisplays und Karten konfiguriert und den Dashboards hinzugefügt werden. Die im Graphen dargestellte Kurve kann online konfiguriert werden und sowohl aus Rohdaten bestehen als auch clientseitig aus den Rohdaten berechnete Werte darstellen. Unter Statusdisplays sind insbesondere virtuelle Rundinstrumente zu verstehen, wie sie aus Cockpits bekannt sind, sowie Tabellen zur direkten Anzeige numerischer Werte. Darüber hinaus existieren spezifische Statusdisplays zur Visualisierung des Längsbewegung des Flugzeuges (Nickwinkel, Anstellwinkel und Nickrate) sowie der Steuereingaben des Piloten in Form der Darstellung eines Steuerknüppels und der Seitenruderpedale. In der zuvor bereits erwähnten Karte, können der bisherige Flugweg, die aktuelle Position, das aktuelle Heading, sowie der horizontale Geschwindigkeitsvektor dargestellt werden.

Zur Definition der darzustellenden Werte in jeglicher Art von Kachel auf einem Dashboard, wird zunächst angegeben welche Parameter (z.B. GNSS-Höhe, GNSS-Latitude / -Longitude) vom iBos-System dieser Kachel bereitgestellt werden sollen. Anschließend können diese Parameter in kurzen, in der Skriptsprache TypeScript, geschriebenen Formeln referenziert werden, um die darzustellenden Werte zu berechnen. Im einfachsten Fall lautet die Formel beispielsweise „p0.v“, wenn schlicht und einfach der Wert des ersten gewählten Parameters dargestellt werden soll. Aber es können auch umfangreichere Formeln definiert werden um beispielsweise aus x-, y- und z- Beschleunigungen die Gesamtbeschleunigung zu berechnen oder die aktuelle geographische Entfernung zwischen Flugzeug und Bodenstation / Flughafen. Um die Formeleingabe zu vereinfachen werden Hilfsfunktionen (u. A. zur Berechnung von Distanzen zwischen Geokoordinaten) sowie Codevervollständigung bereitgestellt. Bei Formeln, welche mehrere Parameter referenzieren, kümmert sich das iBos-System um die Zeitsynchronisierung der Parameter. Der Nutzer/Flugversuchingenieur bekommt in der Formel ausschließlich Zugriff auf die bereits synchronisierten Parameterwerte – nicht auf die gesamte Zeitreihe.

Bei den, den Kacheln übergebenen, Werten der Eingangsparameter handelt es sich bei den Statusdisplays, sowie bei der aktuellen Position für die Karte um den jeweils aktuellsten Rohmesswert. Den Graphdisplays sowie dem bisherigen Flugweg der Karte wird hingegen eine in der Datenfrequenz reduzierte Zeitreihe übergeben. Der Grad der Reduzierung ist abhängig von der Länge des darzustellenden Zeitbereichs und dient der Datenreduktion der über die Telemetriestrecke übertragenen Daten. Dies ist akzeptabel, da bei der Darstellung eines Zeitbereiches beliebiger Länge in einem endlich breiten Graphen auf dem Display nur eine endliche Zahl von Pixeln zur Verfügung steht. Es ist nicht förderlich in dem Graphen mehr Datenpunkte darzustellen als Pixel vorhanden sind, da diese nicht mehr auseinandergehalten werden könnten. Sollte der Nutzer/Flugversuchingenieur einen Teil des Graphen genauer betrachten wollen, kann er nach dem Hineinzoomen für den gezoomten Zeitbereich Daten mit höherer Datenfrequenz nachfordern.

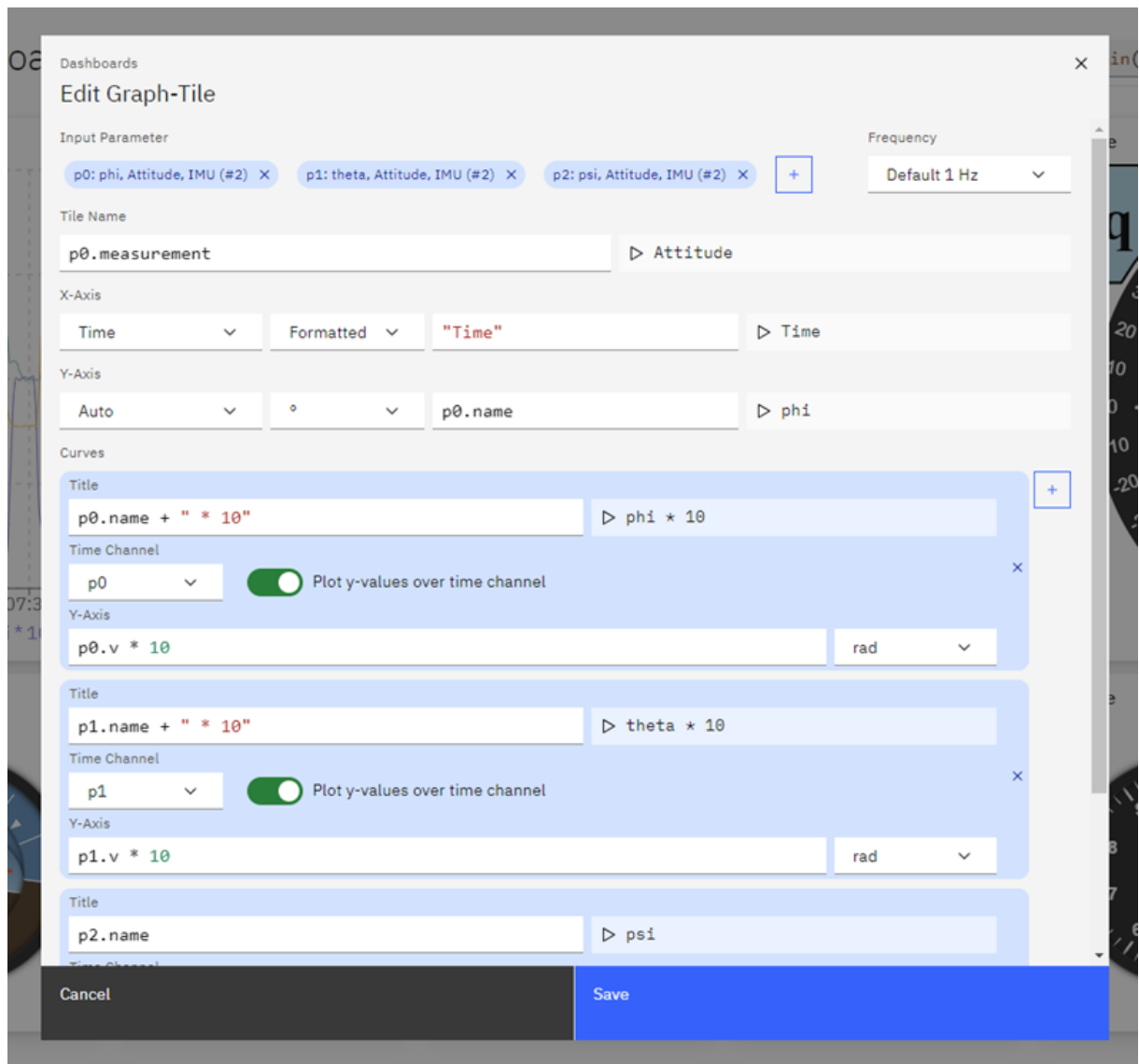


Abbildung 2.2: Konfigurationsdialog für ein Graph Tile. Die Definition von Titel, Beschriftungen und Kurven erfolgt mittels TypeScript Formeln.

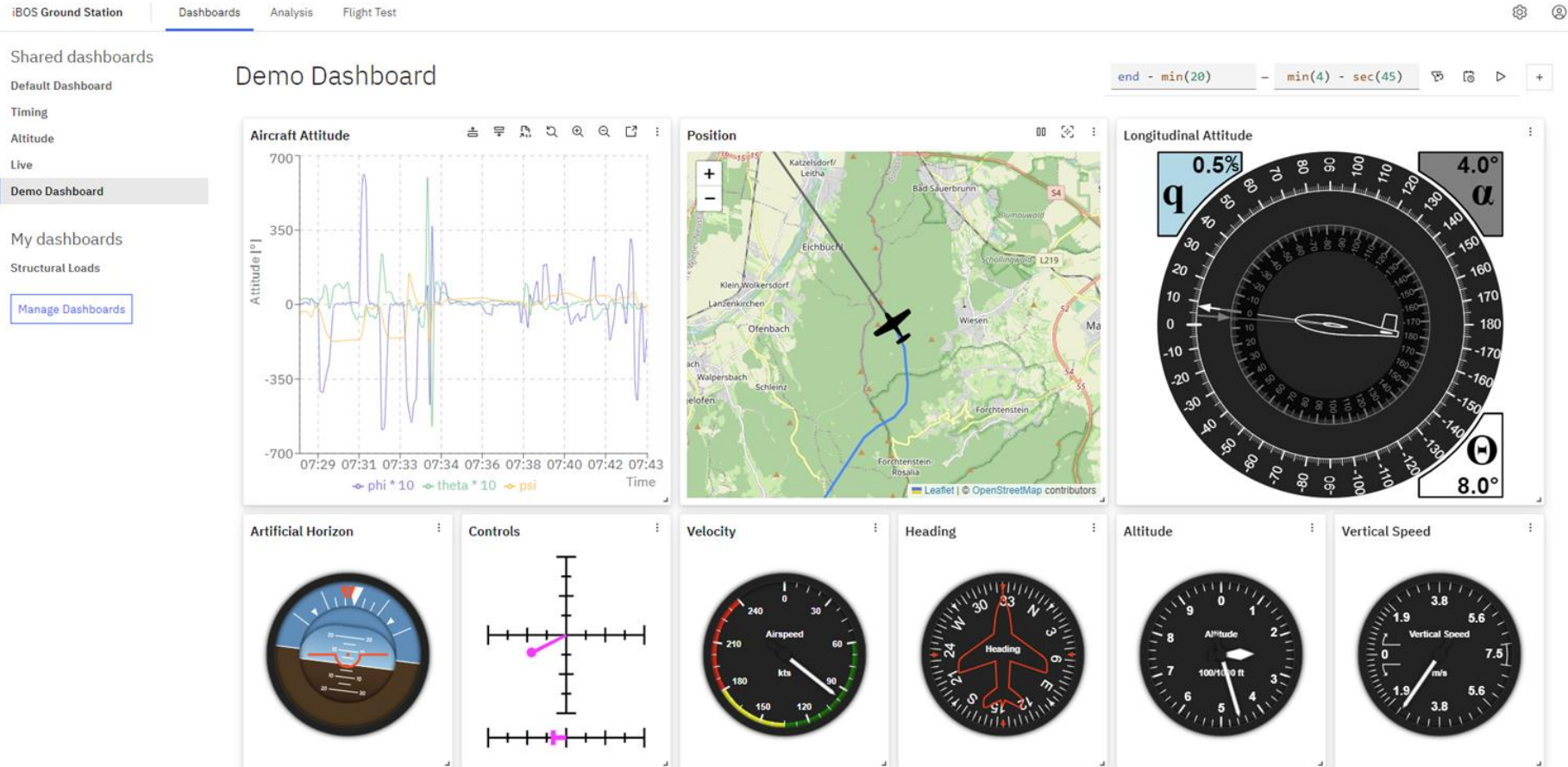


Abbildung 2.3: Dashboard mit Graph, Map und Status Tiles

Weiterhin besteht die Möglichkeit der Eingabe und Ausführung von umfangreichen Analyseskripten. Wie auch bei Dashboard-Kacheln definiert der Nutzer/Flugversuchingenieur eine Liste der benötigten Parameter. Anschließend kann ein mehrzeiliges TypeScript Skript geschrieben werden, in welchem bei Ausführung die gesamte Zeitreihe der Rohmessdaten der gewählten Eingangsparameter für den gewählten Zeitbereich übergeben werden. Als Teil des Skriptes kann der Nutzer/Flugversuchingenieur auch eigene Funktionen definieren. Ausgabe des Skriptes können einfache Lognachrichten sein, ebenso wie Graphdefinitionen (Zeitreihen, Achsenbeschriftungen, Referenzlinien etc.).

Um die Erstellung der Skripte zu vereinfachen, werden Hilfsfunktionen über die sogenannte „oT“-Bibliothek bereitgestellt. Dabei handelt es sich um eine TypeScript-Bibliothek welche bspw. die oben bereits erwähnten Funktionen zur Berechnung von geographischen Distanzen sowie zur Umrechnung von Einheiten bereitstellt. Zukünftig kann diese Bibliothek einfach um weitere Funktionen, etwa zur Synchronisierung von Zeitreihen, erweitert werden.

Zur Definition des Zeitbereiches für den ein Analyseskript ausgeführt werden soll besteht eine Verknüpfung von Seiten der Dashboards: So kann der sichtbare Zeitbereich eines gezoomten Graphdisplays als Zeitbereichsdefinition dem Analysemodul übergeben werden. Dies ist bspw. nützlich, wenn ein Analyseskript zur Auswertung eines bestimmten Flugmanövers definiert wurde. Während des Flugversuches kann dann zunächst das Flugmanöver auf einem Dashboard live verfolgt werden. Nachdem es abgeschlossen ist, markiert der Flugversuchingenieur in einem Graphdisplay den Bereich des Manövers (zoomt dadurch hinein), und drückt anschließend auf einen Knopf neben dem Graphen um diesen Zeitbereich an das Analysemodul zu übergeben. Anschließend kann das Skript direkt ausgeführt werden. Sollten die Rohmessdaten am Boden noch nicht gecached sein, werden sie vom Datenserver automatisch beim Bordsegment angefordert und heruntergeladen.

Die Struktur der Ground Station UI erlaubt ebenfalls die in Arbeitspaket 3.2 dargestellte Nutzung der DekoM-Anzeigen.

Gegenwärtig existieren drei Nutzerkategorien in der Ground Station UI: „Administratoren“, „Flight Engineers“ und „Piloten“. Erstere besitzen die Berechtigung sowohl geteilte als auch persönliche Dashboards zu erstellen und zu bearbeiten. „Flight Engineers“ hingegen besitzen auf geteilten Dashboards nur lesende Rechte. Das heißt, sie können diese zwar betrachten, aber nicht erstellen oder bearbeiten. Dies können sie nur bei ihren „persönlichen“ Dashboards. Piloten besitzen insbesondere mit Hinblick auf die Nutzung der DekoM-Anzeigen besondere Rechte. Die Nutzerdatenverwaltung ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

iBOS Ground Station | Dashboards | Analysis | Flight Test

Stall

Input Parameter
[0] u, Velocity, FiveHP, Aircraft X

```
1 function main(input: AnalysisInput): AnalysisResult {
2   let vThreshold = -1;
3
4   let res: AnalysisResult = new AnalysisResult();
5   res.log.push("Got " + input.data[0].length + " points.");
6
7   res.graph.xAxis.label = "Time [s]";
8   res.graph.xAxis.type = GraphAxisType.Time;
9   res.graph.yAxis.label = "Velocity [kt]";
10  res.graph.yAxis.type = GraphAxisType.Value;
11
12  let vCurve = new GraphCurve("v");
13  let t0 = input.data[0][0].t / 1000;
14  let minV = 1000;
15  let minVTime = 0;
16
17  for (let i = 0; i < input.data[0].length; i++) {
18    let t = input.data[0][i].t / 1000 - t0;
19    let v = input.data[0][i].v * 3.6 / 1.852;
20    vCurve.points.push(new GraphPoint(t, v));
21    if (v < minV) {
22      minV = v;
23      minVTime = t;
24    }
25  }
26  res.graph.curves.push(vCurve);
27
28  let refCurve = new GraphCurve(vThreshold + " kt/s");
29  refCurve.points.push(
30    new GraphPoint(0, minVTime * (-1 * vThreshold) + minV),
31    new GraphPoint(minVTime, minV)
32  );
33  res.graph.curves.push(refCurve);
34
35  let avgDeceleration = (minV - (input.data[0][0].v * 3.6 / 1.852)) / minVTime;
36  res.log.push("Minimum V: " + minV + " kts");
37  res.log.push("Minimum V at: " + minVTime + "s");
38  res.log.push("Average Deceleration before minimum V: " + avgDeceleration + " kts/s");
39  return res;
40 }
```

Graph

Log

Got 1275 points.
Minimum V: 42.53995828957003 kts
Minimum V at: 8.950000047683716s
Average Deceleration before minimum V:
-0.9630277659391905 kts/s

Abbildung 2.4: Analysemodul mit Skript zur simplen Auswertung eines Stall-Versuchs

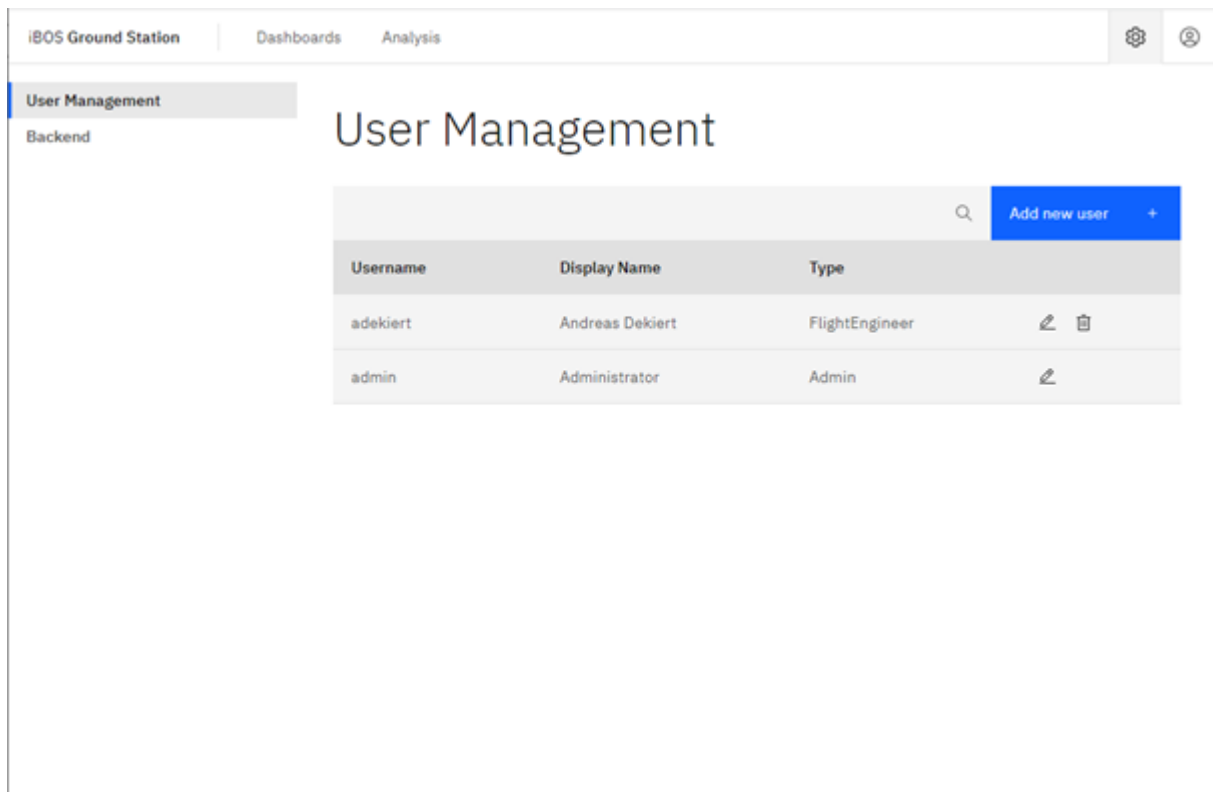


Abbildung 2.5: Benutzerverwaltung innerhalb der Ground Station UI

2.7 Arbeitspaket 2.4

In diesem Kapitel werden die geschaffenen Möglichkeiten zur Missionsplanung und Missionsanpassung beschrieben. Dieses Arbeitspaket wurde in engem Austausch mit dem Projektpartner messWERK bearbeitet. In dessen Abschlussbericht zu diesem Thema liegt der Fokus auf der Notwendigkeiten der Vorbereitung und Planung und den Vorteile einer flexibleren Missionsgestaltung. An dieser Stelle liegt der Schwerpunkt auf der Darstellung der technischen Verfahren und Systeme.

Die Planung von Flugversuchen für die Zulassung von Luftfahrzeugen orientiert sich in der Regel an den jeweiligen gesetzlichen Zulassungsvorschriften. In diesem Fall besteht über die Funktionalitäten von DeKoM die Möglichkeit der automatisierten Erstellung von Flight-Test-Cards auf dieser Basis. Für Versuche die nicht auf eine Zulassung abzielen, z. B. meteorologische Messungen, können kompatible Protokolle händisch erstellt werden. Diese so generierten Dokumente können über die in Arbeitspaket 3.2 beschriebene Schnittstelle in der iBos Ground Station UI angezeigt und bearbeitet werden. Dies bietet die Möglichkeit, dass der Pilot und die Personen am Boden immer Zugriff auf den gleichen Satz Dokumente und somit einen direkten Überblick über den Fortgang der Versuche haben. Durch den Zugang am Boden auf die Flight-Test-Cards, deren aktuellen Bearbeitungsstand und die über die Telemetriestrecke übertragenen Daten, ergibt sich ein umfassender Überblick auf

das gesamte Geschehen. Durch die zusätzlichen größeren Arbeitskapazitäten durch verteilte Arbeitsplätze und größere räumliche Möglichkeiten, können sinnvolle Veränderungen der Manöverreihenfolge ermittelt werden. Um diese an den Piloten zu kommunizieren bestehen mehrere Möglichkeiten. Zum einen kann die dem Piloten angezeigte Testkarte gewechselt werden, was diesen zu einem anderen Manöver veranlassen sollte. Dies sollte mindestens durch eine erklärende Textnachricht, die über die gleiche Schnittstelle wie die Testkarten versendet werden kann, begleitet werden. Besser ist in die Absprache der veränderten Reihenfolge mit dem Piloten über die bestehende Audioverbindung um Missverständnisse zu vermeiden. Eine weitere Möglichkeit besteht, wenn mehrere Flüge im Voraus geplant und mit allen Beteiligten besprochen wurden. Für den Fall, dass die für den aktuellen Flug geplanten Manöver nicht durchgeführt werden können, z. B. aufgrund einer sich kurzfristig ändernden Wetterlage, können Manöver aus einem späteren Flug flexibel vorgezogen werden. Ein Beispiel wären geplante Versuche zur Stallspeed und eine sich schnell verringernde Wolkenuntergrenze, welche die geforderte Mindestflughöhe unmöglich macht. Als letzte Option besteht noch die Möglichkeit den bestehenden Satz Testkarten am Boden zu modifizieren und diese Änderungen an das Flugzeug zu übertragen. Diese Variante sollte allerdings nur mit entsprechender Vorsicht und bei deutlicher Kommunikation mit dem Piloten verwendet werden, da die entsprechenden Änderungen nicht gebrieft wurden und somit schnell zu Missverständnissen führen können. Hier, wie in allen Fällen, sollte immer gelten, dass die letzte Entscheidung beim Piloten liegt.

2.8 Arbeitspaket 2.5

Um alle entwickelten Systeme optimal zu nutzen, ist eine effiziente Einbindung in die Abläufe von Flugversuchen unumgänglich. In diesem Abschnitt werden die Konzepte für den Einsatz aller Komponenten im Flugversuch mit einem Schwerpunkt auf das Bodensegment beschrieben. Die Reihenfolge orientiert sich dabei lose an der klassischen Durchführung von Flugversuchen. Eine Beschreibung der Vorgehensweise für das Flugzeugsegment findet sich im Abschlussbericht des Projektpartners messWERK.

Die Planung der Flugversuche soll unter der Zuhilfenahme der DeKOM-Plattform erfolgen, um eine präzisere und strukturiertere Vorbereitung zu unterstützen. Diese Ergebnisse liefern sowohl unmittelbar Flight-Test-Cards, als auch eine Grundlage für ein umfassendes Briefing aller an den Versuchen beteiligten Personen vor dem Flug, wie auch in klassischen Flugversuchen mit ggf. an Bord befindlichen Ingenieuren üblich.

Sobald die zu fliegenden Versuche festgelegt sind, können entsprechende Dashboards vorkonfiguriert werden. Hierbei kann sowohl flexibel auf neue Anforderungen reagiert, als auch auf bestehende Konfigurationen zurückgegriffen werden. Aufgrund der Modularität und Anpassbarkeit können die Flugversuchingenieure die Displays der Bodenstationen an ihre jeweiligen Bedürfnisse anpassen. Sofern im Rahmen der Flugversuche zu erwarten ist, dass eine Kooperation mit weiteren eingebundenen Personen notwendig ist, sollten die Displays als geteilte Dashboards angelegt werden. Weiterhin können entsprechende Auswertungsskripte über das Analysemodul vorbereitet werden. In diesem Kontext ist es

sinnvoll die Skripte mit bereits bestehenden Messdaten aus vorherigen Flügen zu verifizieren. Selbiges gilt für die konfigurierten Dashboards. Eine möglichst reibungslose Betreuung der Versuche durch das Bodensegment ist somit möglich. Für den Fall sich kurzfristig ergebender Veränderung während der Versuche ist eine Anpassung der Oberflächen aber nach wie vor innerhalb kurzer Zeit möglich. Nur die Integration komplexer Änderung wird voraussichtlich zu kurzfristig sein, bzw. erfordert einen größeren Personalaufwand im Bodensegment.

Die Systeme im Bodensegment können aufgrund der Softwarearchitektur und dem Betrieb auf Servern quasi dauerhaft betriebsbereit vorgehalten werden. Lediglich die Telemetriestrecke kann aufgrund der Beschränkungen bezüglich der Sendeleistung nicht dauerhaft betrieben werden. Entsprechend kann das Bodensegment ggf. bereits Tage oder Wochen vor dem eigentlichen Versuch in Betrieb genommen werden. Für die Flugversuche muss unmittelbar vor deren Beginn somit nur das Bordsegment gestartet werden. Für den Piloten bestehen entsprechend keine zusätzlichen Aufgaben mit Hinblick auf das Bodensegment.

Solange sich das Flugzeug am Boden befindet, besteht die Möglichkeit von Abschattungseffekten durch die Bebauung am Boden. Die möglichen Auswirkungen auf die Kommunikation zwischen Boden- und Luftsegment und insbesondere die Relevanz für die Versuchsdurchführung ist noch zu betrachten.

Die Kommunikation und Koordination zwischen den beiden Segmenten erfolgt vor allem über die Audioverbindung, soweit dies möglich ist. Das Verfahren einer geregelten Kommunikation um eine zusätzliche Belastung des Piloten zu verhindern findet sich im Bericht zu Arbeitspaket 3.3. Eine weitere Möglichkeit zur Kommunikation besteht über die ebenda und in Arbeitspaket 3.2 beschriebenen Kurznachrichten, sowie die Anpassung der Flight-Test-Cards durch die Personen am und die Übertragung zum Flugzeug.

Die Auswahl der Reihenfolge der Manöver erfolgt im klassischen Flugversuch bereits während des Briefings und wird im Normalfall durch den Piloten aufgrund der ohnehin schon hohen Arbeitsbelastung kaum angepasst, auch wenn dies ggf. möglich wäre. Durch die Übersicht über den aktuellen Flug- und Flugzeugzustand, sowie den Stand der Versuche, ergeben sich für das Personal am Boden mehrere Möglichkeiten für die Unterstützung des Piloten und die Optimierung der Manöverreihenfolge, wie auch in Arbeitspaket 2.4 dargelegt. So können auf Basis der aktuellen Situation Manöver vorgezogen werden, die den Ablauf der Versuche beschleunigen, bzw. Flugzeit ohne geplante Manöver vermeiden. Hierbei kann dem Piloten durch das Bodenpersonal eine alternative Reihenfolge der Flight-Test-Cards vorgeschlagen werden. Sofern bereits mehrere Flüge im Voraus geplant wurden, und der Pilot entsprechend gebrieft ist, wäre es auch denkbar Manöver aus diesen Flügen vorzuziehen. Dies könnte insbesondere dann sinnvoll sein, wenn die ursprünglich geplanten Manöver z. B. aufgrund der Wetterbedingungen nicht durchgeführt werden können. Weiterhin kann von den Beteiligten am Boden eine Unterstützung durch Überprüfung und Überwachung des Flugzeuges erfolgen. Denkbar sind eine Überprüfung der für das aktuelle Manöver notwendigen Flugzeugparameter wie Klappenstellungen und auch die

Überwachung von Mindestflughöhen und Geschwindigkeiten. In diesem Kontext ist zu untersuchen, inwiefern diese Entlastung für eine geringere Aufmerksamkeit für durch den Boden überwachte Parameter beim Piloten sorgt. Hierbei muss sich der Pilot möglicher Fehler in der Telemetrie-Verbindung und daraus resultierender möglicher Fehleinschätzungen am Boden immer bewusst sein.

Neben dieser Unterstützung des Piloten und der Anpassung der Manöverreihenfolge sollen die Versuche soweit möglich auch unmittelbar am Boden bewertet werden. Auf dieser Basis kann somit eine unmittelbare Empfehlung für die Wiederholung eines sonst nicht verwertbaren Manövers ausgesprochen werden. Ein Beispiel hierfür wäre ein Versuch zur Stallspeed. Relevant für die Durchführung dieses Manövers entsprechend der Zulassungsregularien ist unter anderem die Einhaltung der Verringerungsrate der TAS. Dies kann durch den Piloten nur schwer eingeschätzt werden. Durch die Verwendung eines vorgefertigten Analyseskriptes besteht jedoch die Möglichkeit eine Rückmeldung innerhalb weniger Sekunden zu geben (siehe hierzu auch Arbeitspaket 2.3). Diese Überprüfung verringert die Wahrscheinlichkeit von Wiederholungsflügen, was wiederum für geringere Kosten und eine potentiell verbesserte Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufgrund ähnlicher atmosphärischer Bedingungen sorgen könnte.

Als letzter Baustein im Rahmen der Nutzung der geschaffenen Instrumente steht die Archivierung der erfolgten Daten. Hierzu können nach dem Flugversuch die Daten aus der Flugzeugdatenbank zur dauerhaften Speicherung auf einen Server am Boden übertragen werden.

2.9 Arbeitspaket 3.1

Dieses Arbeitspaket wurde in direktem Austausch mit dem Projektpartner messWERK bearbeitet. Inhalte, die schwerpunktmäßig durch den Projektpartner bearbeitet wurden, finden sich im Abschlussbericht des Projektpartners.

Ziel dieses Arbeitspaketes ist die Datenreduktion, wobei vor allem die optimale Ausnutzung der bandbreitenbegrenzten Telemetriestrecke im Vordergrund steht. Diese wird nicht ausreichend sein, um alle im Flugversuch durch das Messsystem erfassten Daten vollständig zu übertragen. Gleichzeitig sorgt eine Datenreduktion aber auch für eine Verringerung der benötigten Speicherressourcen sowie weiterhin für eine geringere Auslastung der vorhandenen Rechenkapazitäten.

Die Datenreduktion lässt sich nicht auf eine einzelne Komponente reduzieren, sondern ist Bestandteil der gesamten Prozesskette. Somit kann sowohl die bandbreitenbegrenzte Telemetriestrecke, als auch als auch die begrenzte Rechenkapazität an verschiedenen Punkten optimal ausgenutzt werden. Teilweise ermöglicht die Datenreduktion auch erst die vollständige Ausführung der gewünschten Operationen, die sonst aufgrund zu geringer Ressourcen nicht möglich wären.

Zunächst ist die Verwendung des auf Protobuf aufbauenden iBos2Db-Protokolls zu erwähnen. Dieses kommt bereits zum Einsatz, um Messdaten in die Datenbank zu

importieren und ist auf der Eingangsseite des Datenbankwächters integriert. Die Datenreduktion der Übertragung wird unter anderem auch durch das Ersetzen der Meta- bzw. Headerdaten durch eine verkürzte ID erreicht. Hierbei kann bereits jetzt beobachtet werden, dass zu der Übertragung eines bestehenden Datensatzes an iBos2Db in dem implementierten Protokoll 776,1 MB erforderlich sind. Im Gegensatz dazu besitzen die gleichen Daten im zur Speicherung verwendeten Dateiformat eine Größe von 1,6 GB. Durch das iBos2Db-Protokoll wird bei der Übertragung somit eine Einsparung von gut 50% erreicht. Noch deutlicher fällt der Vergleich aus, wenn die Kommunikation mit der aktuell verwendeten Datenbank betrachtet wird. Bei der Übertragung der Messdaten von iBos2Db an die Datenbank im nativen Protokoll der Datenbank fällt eine Datenmenge von sogar 4,3 GB an – etwas mehr als fünfmal so viel wie zuvor während der Übertragung mittels des iBos2Db-Protokolls an der Eingangsseite von iBos2Db.

Durch den Aufbau des Gesamtsystems, werden die Flugversuchingenieure am Boden immer über die aktuell durchgeführten Flugversuche informiert. Entsprechend werden nicht immer alle Daten am Boden benötigt. Hier können die Nutzer die jeweils benötigten Daten aufgrund ihres Expertenwissens anfordern. Dadurch können auch jeweils individuelle bzw. spezielle Fragestellungen berücksichtigt werden und die übertragenen Daten sind an die jeweiligen Aufgaben angepasst. Durch die Überprüfung der Anfragen durch das System werden weiterhin mehrfache bzw. sich zeitlich überschneidende Abfragen gebündelt und somit unnötige Übertragungen vermieden. Auch werden alle übertragenen Daten am Boden in einer Cache-Datenbank vorgehalten. Sobald eine Information einmal übertragen wurde, ist somit eine erneute Übertragung unnötig.

Falls die Daten am Boden nicht mit der maximal verfügbaren zeitlichen Auflösung benötigt werden, können diese auch mit einer verringerten Frequenz angefordert werden. Durch das Downsampling verringert sich die Datenrate deutlich. Hierbei besteht die Option Zusatzinformationen zu den Daten mit reduzierter Auflösung zu übertragen. Durch Informationen wie beispielsweise Minima und Maxima können Rückschlüsse auf den originalen Datensatz geschlossen werden und bei Bedarf Daten mit einer höheren Frequenz abgefragt werden. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass durch die Übertragung von zu vielen Informationen ggf. der Gewinn durch das Downsampling zu Nichte gemacht wird.

Für Anwendungen, die beispielsweise Informationen im Frequenzbereich benötigen, besteht die Möglichkeit die Daten bereits im Flugzeug in diesen Raum zu übertragen. Die Reduktion der Datenmenge hängt hierbei von der Länge des betrachteten Datensatzes ab. Zu klären ist weiterhin die Speicherung der Daten am Boden, da die aktuelle Datenbank auf die Speicherung dieser Datentypen nicht ausgelegt ist. Ebenfalls muss noch untersucht werden, in welchem Verhältnis die notwendigen Kapazitäten für diese Berechnungen im Bordsystem zur potenziellen Datenreduktion stehen. Allgemein ist eine höhere Leistungsaufnahme für Berechnungen am Boden als deutlich weniger kritisch anzusehen.

Abschließend kann noch die Datenmenge – wiederum durch Downsampling – automatisiert an den jeweiligen aktuellen Zustand der Telemetriestrecke angepasst werden. Hierzu stellt

das zum Einsatz kommende System Diagnosedaten bereit, die für entsprechende Operationen herangezogen werden können.

2.10 Arbeitspaket 3.2

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die Einbindung des DeKoM-Displays durchgeführt. Kern des Displays ist die zwischen mehreren Systemnutzern synchronisierte Darstellung einer „Flight-Test-Order“ wie sie aus dem DeKoM-Verwaltungssystem als .json-Datei exportiert werden kann. Dazu wird die durchzuführende Flight-Test-Order durch einen Benutzer mit Piloten- oder Administratorberechtigung in das System geladen, sie ist anschließend für alle angemeldeten Nutzer auf der Flight-Test Seite sichtbar.

Die Flight-Test Seite unterstützt zwei Modi: „Pilot's View“ und „Normal View“. Beim „Pilot's View“ handelt es sich um die Ansicht welche der Pilot sieht. Jegliche Aktion, bspw. das Wechseln der aktuell dargestellten Flugtestkarte, wird protokolliert und synchronisiert. Der Pilot kann diesen Ansichtsmodus nicht verlassen. Andere Benutzer können „Pilot's View“ aktivieren oder deaktivieren. Bei aktiviertem „Pilot's View“ sehen sie dementsprechend genau das gleiche wie der Pilot und können seine UI-Interaktionen live verfolgen. Bei deaktiviertem „Pilot's View“ können sie davon unabhängig zwischen den Flugtestkarten wechseln. Außer dem Piloten besitzen ausschließlich Administratoren die Berechtigung im „Pilot's View“ mit der UI zu interagieren (und dementsprechend Einfluss darauf zu nehmen, was der Pilot sieht). Andere Benutzer können lediglich passiv zuschauen. Neben der reinen Darstellung der Flug-Test-Order und Flug-Test-Karten, kann im „Pilot's View“ der Beginn und das positive oder negative Ende der Durchführung eines Flugtestmanövers protokolliert werden. Auch diese Aktionen können „im Namen des Piloten“ durch einen Administrator durchgeführt werden.


Zur Kommunikation der Flugtestingenieure am Boden mit dem Piloten existiert die Möglichkeit textbasierte Nachrichten zu senden. Dies ist ausschließlich im „Normal View“ möglich, die Anzeige erfolgt ausschließlich im „Pilot's View“ an den Piloten, welcher den Empfang der Nachricht bestätigen muss. D.h. auch Administratoren können die Nachrichten nicht „im Namen des Piloten“ bestätigen. Sofern gerade kein Manöver im Gange ist, wird dem Piloten eine eingehende Nachricht augenblicklich im Vollbild angezeigt und er kann erst nach Bestätigung der Nachricht wieder mit der UI interagieren. Während eines laufenden Manövers hingegen signalisiert lediglich ein roter Nachrichtenknopf in der unteren rechten Ecke des Displays dem Piloten den Eingang einer Nachricht, um ihn nicht vom Manöver abzulenken. Durch Betätigen des Knopfs kann er auch während des Manövers manuell die die Nachricht anzeigen.

Da die Synchronisation des „Pilot's View“ über eine Datenbank im Bodensegment erfolgt, muss ein Datenaustausch über die Telemetrie Verbindung erfolgen. Etwaige Synchronisationskonflikte im Falle das sowohl der Pilot als auch ein Administrator am Boden zeitgleich oder während einer Unterbrechung der Telemetrie Verbindung Aktionen im „Pilot's View“ durchgeführt haben, werden durch Priorisierung des Piloten aufgelöst. Auf diese Weise kann automatisiert ein Protokoll des gesamten Flugtests erzeugt werden, aus dem

ersichtlich ist, welchen Zustand der UI der Pilot zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Fluges gesehen hat. Dies kann während der Nachbesprechung eines Flugtests helfen Unklarheiten oder Kommunikationsprobleme aufzuklären. Das Protokoll kann nach Abschluss des Flugtests im .json-Format aus der UI exportiert werden.



Abbildung 2.6: Pilot's View der Flight-Test-Seite während eines aktiven Manövers. Mittels der "SUCCESS" und "FAIL" Knöpfe kann die Beendigung des Manövers signalisiert werden. Die rote Nachrichtenbox signalisiert, dass eine ungelesene Nachricht auf Bestätigung wartet.



The screenshot displays the iBos FTOrder-2 interface. The main title is "FTCard-LSC-TFS-1 Turning flight stall". The left panel contains instructions: "Trim the aircraft to 1.5-VS Perform a 30° banked coordinated turn Stall the aircraft with a deceleration rate of 1 kts/s Recover fast after the stall with any applicable control input". Below this are three task cards: "2 · FTMan-LSC-TFS-1" (green), "2 · FTMan-LSC-TFS-2" (orange), and "2 · FTMan-LSC-TFS-3" (blue). The right panel shows flight data: "See ASTM F3180/F3180M-16: 4.1.2", "Mass MTOM", "CG Mid. CG", "Speed (IAS) 60 kts", "Power Idle", and "Flaps Landing (35°)". The "Pilot's Action Log" on the right lists messages and maneuvers with timestamps, such as "13:51:01Z Confirmed Message Continue with LSC-TFS-3 after first execution." and "13:50:17Z Started Maneuver FTCard-LSC-TFS-1 / FTMan-LSC-TFS-1 SUCCESS". A "Send Message to Pilot" button is at the bottom right.

Abbildung 2.7: Normal View der Flight-Test-Seite zum gleichen Zeitpunkt wie in vorherige Abbildung. Auf der rechten Seite ist zusätzlich das Protokoll aller Piloten-Aktionen sichtbar und das Textfeld um dem Piloten eine Nachricht zu senden.

2.11 Arbeitspaket 3.3

Während Flugversuchen ist mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand für den Piloten alleine aufgrund der zusätzlich zum normalen Flugbetrieb durchzuführenden Manöver zu rechnen. In diesem Kontext soll die durch die Kommunikation mit den am Boden arbeitenden Flugversuchingenieuren aufkommende Belastung möglichst minimiert werden. Zu diesem Zweck besteht bereits die Möglichkeit über die im vorherigen Kapitel beschriebene DeKoM-Schnittstelle kurze Textnachrichten mit Hinweisen, bzw. Aufträgen, an den Piloten zu senden. Diese können durch den Piloten abgerufen werden, sobald dieser hierfür die notwendigen Kapazitäten hat.

Komplexere Aufgaben und Fragen die ein detailliertes Feedback durch den Piloten benötigen können jedoch nur über eine Audioverbindung abgesprochen werden. Um die mögliche Verwirrung und damit einhergehende größere Belastung für den Piloten durch mehrere Sprecher am Boden zu minimieren, ist eine strenge Funkdisziplin unumgänglich. Um diese zu gewährleisten, wurde die Entscheidung getroffen, ausschließlich die

Kommunikation durch den zentralen Flugversuchingenieur am Boden zuzulassen. Dieser gibt die Nachrichten der weiteren im Bodensegment beteiligten Personen an den Piloten weiter. Hierdurch wird die Funktion eines Koordinators und Filters im Bodensegment gehalten.

Die eingesetzte Telemetriestrecke bietet eine integrierte Audiokommunikationsschnittstelle, welche im Rahmen dieses Projektes verwendet wird. Im Bordsegment wird die Kommunikationsschnittstelle der Telemetrie mit dem Bordkommunikationsnetz verbunden. Somit besteht die Möglichkeit, dass mit allen an Bord befindlichen Personen über deren Headsets gesprochen werden kann. Durch die Nutzung dieser bereits erprobten Komponenten wird zudem das Risiko möglicher Probleme und der mögliche damit einhergehende Kommunikationsverlust mit dem Flugzeug, verringert. Weiterhin bieten moderne Pilotenheadsets die Möglichkeit eine Bluetooth Verbindung zu mobilen Endgeräten, bspw. Mobiltelefonen herzustellen. Darüber ist es somit ebenfalls möglich eine Zwei-Wege-Sprechverbindung zwischen Flugversuchingenieur am Boden und Pilot/Copilot/Flugversuchingenieur an Bord des Flugzeuges aufrechtzuerhalten. Im Falle eines eingehenden Funkspruchs priorisieren derartige Headsets den Funkverkehr und deaktivieren kurzfristig den Datenaustausch mit dem über Bluetooth verbundenen Gerät um die Flugsicherheit zu gewährleisten.

2.12 Arbeitspaket 4.1

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte eine Zuarbeit bei allen Arbeitsschritten zum Projektpartner messWERK. Aufgrund des engen Bezuges dieses Arbeitspaketes zum durch messWERK betriebenen Flugversuchsträger werden die Ergebnisse des Arbeitspaketes im Abschlussbericht des Projektpartners beschrieben.

2.13 Arbeitspaket 4.2

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgte eine Zuarbeit bei allen Arbeitsschritten zum Projektpartner messWERK. Aufgrund des engen Bezuges dieses Arbeitspaketes zum durch messWERK betriebenen Flugversuchsträger werden die Ergebnisse des Arbeitspaketes im Abschlussbericht des Projektpartners beschrieben.

2.14 Arbeitspaket 4.3

Es wurde eine Veröffentlichung mit dem Titel „Distributed Real Time Flight Test Data Review System for General Aviation“ bei der IEEE AeroConf 2024 eingereicht und „peer reviewed“ angenommen. Die Veröffentlichung wurde im März 2024 auf der Konferenz in Big Sky, Montana, USA im Rahmen eines Vortrages präsentiert. Das Thema wurde vom Fachpublikum gut angenommen und im Anschluss an den Vortrag in bilateralen Gesprächen weiter diskutiert und vertieft. Es zeigte sich, dass die sichere persistente Aufzeichnung sowie Live-Darstellung von Flugversuchsmessdaten sowohl an Bord des Flugversuchsträger als auch via Telemetrie am Boden ein weithin bekanntes Problem darstellt. Der in iBos verfolgte

Ansatz traf daher auf breites Interesse. Besonderen Zuspruch erfuhr dabei die Flexibilität des Systems, welche es erlaubt sowohl die Aufzeichnung als auch die Darstellung an eine geänderte Systemarchitektur, bspw. nach dem Einbau neuer oder anderer Sensoren, anzupassen. Seitens der Firma IERUS Technologies aus Alabama, USA wurde Interesse am iBos-System als Produkt geäußert.

Weiterhin erfolgten Diskussionen und Arbeiten um das iBos-System in unbemannten Flugversuchsträgern des IFF einzusetzen. So wurde bereits eine abgewandelte Systemarchitektur, d.h. mit Übertragung der Messgrößen via Telemetrieverbinding zu einem iBos-Inselsystem im Bodensegment, im Flugversuchsträger Aladina im Rahmen einer meteorologischen Messkampagne auf Spitzbergen im Frühjahr / Sommer 2024 eingesetzt. iBos stellte dabei die einzige Live-Visualisierung des Flugzustands und dar und diente darüber hinaus zur Zustandsüberwachung des Messsystems. Dank des modularen Aufbaus von iBos war dessen Adaption für diesen Anwendungszweck mit weniger Risiken und Zeitaufwand verbunden als eine Anpassung des zuvor eingesetzten Systems, welches aufgrund von Funkbeschränkungen auf Spitzbergen nicht ohne Anpassungen hätte verwendet werden können.

Zukünftig ist geplant das iBos-System auch im Rahmen der Lehre an Bord des Forschungsflugzeuges D-ILAB des IFF einzusetzen. Hier soll es Studierenden die Möglichkeit geben, realitätsnah, im Rahmen von studentischen Flugversuchen und Labors, Messgrößen zu überwachen sowie schon während des Fluges auszuwerten. Entsprechende Tests der Benutzeroberfläche, insbesondere auf Tablets, sind bereits erfolgt.

2.15 Relevante Ergebnisse Dritter

Während der Durchführung des Verbundvorhabens sind keine F&E-Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens oder dessen Verwertung relevant sind.

3 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Aus den bewilligten Mitteln wurden am Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig im Wesentlichen wissenschaftliche Mitarbeiter beschäftigt. Diese waren zur Bearbeitung der Themen erforderlich, da diese neben einer akademischen Ausbildung Kenntnisse unter anderem im Bereich der Zertifizierung, Flugleistung und -eigenschaften, Flugmesstechnik sowie Datenbank- und Softwareprogrammierung haben mussten. Weiteres Personal wurde in Form von wissenschaftlichen bzw. studentischen Hilfskräften zur Unterstützung eingesetzt.

Darüber hinaus erfolgte die Veröffentlichung der wissenschaftlichen Ergebnisse in Form eines peer-reviewed Papers und Vorstellung auf einer internationalen Konferenz. Eine dazu erforderliche Dienstreise wurde, nach Freigabe durch den Projektträger, aus Projektmitteln finanziert.

4 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Als universitäre Einrichtung ist das Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig auf Förderungen im Rahmen von öffentlichen Förderprogrammen angewiesen, da eine Finanzierung von Forschungsvorhaben aus Eigenmitteln nicht möglich ist. Die Arbeiten wurden sorgsam geplant und im Sinne eines wirtschaftlichen Umgangs mit Fördermitteln bearbeitet.

Durch die in diesem Vorhaben geleisteten Arbeiten konnte das IFF seine Kompetenzen in den Bereichen der Flugmesstechnik, Flugzustandserfassung und -Überwachung, online-Datenverarbeitung / Datenmanagement, Mensch-Maschine-Schnittstellen und -Interaktionen sowie Software-Systemarchitektur erweitern.

5 Nutzen und Verwertbarkeit

5.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen

Zu Schutzrechtsanmeldungen kam es in diesem Vorhaben nicht.

5.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Die kommerzielle Verwertung der in diesem Vorhaben entwickelten Algorithmen und Systeme erfolgt durch die Firma messWERK. Es wird geplant das System zur Ausbildung von Testpiloten anzubieten (ab 0 bis 1 Jahr nach Projektende).

5.3 Wissenschaftlich/technische Erfolgsaussichten

Das Verbundvorhaben wurde bereits zur Laufzeit dazu genutzt über die Ausschreibung studentischer Arbeiten, den Einsatz studentischer Hilfskräfte sowie der Einbindung der in diesem Vorhaben erzielten Erkenntnisse in Lehrveranstaltungen des Instituts qualifizierten, wissenschaftlichen Nachwuchs im MINT-Bereich auszubilden und an aktuelle Forschungsthemen heranzuführen.

Die erarbeiteten Methoden und generierten Messdaten werden weiterhin zu diesen Zwecken verwendet. Erwarteter Zeithorizont für die Verwertung in der Lehre: -1 bis +3 Jahre nach Projektende.

Über die Einbindung in die Lehre hinaus finden die in diesem Vorhaben gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse Einfluss in andere Forschungsvorhaben/Projekte, die im nachfolgenden Abschnitt näher beschrieben werden. Zeithorizont für die Verwertung in den aktuellen Forschungsprojekten: 0 bis +3 Jahre nach Projektende.

Neben den bereits veröffentlichten Ergebnissen werden weitere wissenschaftliche Veröffentlichungen auf Basis des Vorhabens geplant. Erwarteter Zeithorizont für die Veröffentlichungen: 0 bis +3 Jahre nach Projektende.

Veröffentlichungen

Abschlussbericht

- Abschlussbericht zum Vorhaben „Intelligente Bodenstation für Flugprobung und Forschung (iBos)“, Teilvorhaben „Display und Server (DS)“ von dem Institut für Flugführung der Technischen Universität Braunschweig (Förderkennzeichen: 20Q1934B), Veröffentlichung in der TIB Hannover vorgesehen für Oktober 2024.

Wissenschaftliche Veröffentlichungen

- „Adaptive Videoübertragung als Teil eines Telemetriesystems zur Flugprobung“, Masterarbeit, 2023

- „Distributed Real Time Flight Test Data Review System for General Aviation“, Peer-Reviewed Paper, 2024

5.4 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die Einsatz- und Weiterentwicklungsmöglichkeiten der in diesem Vorhaben entwickelten Algorithmen und Systeme sind vielfältig. So erfolgte die erste praktische Anwendung des Systems im Inselbetrieb zur Flugzustandsüberwachung des unbemannten Flugversuchsträgers Aladina im Rahmen einer meteorologischen Messkampagne auf Spitzbergen im Frühjahr / Sommer 2024 (Zeithorizont -1 bis +3 Jahre nach Projektende).

Die Firma messWERK plant das System zur Ausbildung von Testpiloten anzubieten. Weiterhin bekundete auf einer Konferenz eine amerikanische Firma Interesse an dem System, was die wirtschaftliche Relevanz des Vorhabens und der erzielten Ergebnisse unterstreicht. Erwarteter Zeithorizont ab 0 bis 1 Jahr nach Projektende.

Im Wissenschaftlichen Kontext ist geplant das System zukünftig auch im Rahmen der Lehre an Bord des Forschungsflugzeuges D-ILAB des IFF einzusetzen. Hier soll es Studierenden die Möglichkeit geben, realitätsnah, im Rahmen von studentischen Flugversuchen und Labors, Messgrößen zu überwachen sowie schon während des Fluges auszuwerten. Entsprechende Tests der Benutzeroberfläche, insbesondere auf Tablets, sind bereits erfolgt. Erwarteter Zeithorizont ab 0 bis 2 Jahre nach Projektende.

Zukünftige Forschungsprojekte können auf iBos aufbauen und Themengebiete der entfernten Flugzustandsüberwachung, -Visualisierung und Wegekommunikation zur adaptiven Anpassung des Flugversuchsplans untersuchen. Erwarteter Zeithorizont ab 0 bis 3 Jahre nach Projektende.

5.5 Veröffentlichungen und Vorträge

Es wurde eine Veröffentlichung mit dem Titel „Distributed Real Time Flight Test Data Review System for General Aviation“ bei der IEEE AeroConf 2024 eingereicht, „peer reviewed“ angenommen und im März 2024 im Rahmen eines Vortrages auf der Konferenz präsentiert (siehe auch Arbeitspaket 4.3).

6 Zusammenfassung

Dieser Abschlussbericht präsentiert die Arbeiten und erzielten Ergebnisse des Verbundvorhabens iBos. Sämtliche zu bearbeitenden Arbeitspakete wurden erfolgreich abgeschlossen. Das Verbundvorhaben wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und verwaltet vom Projektträger Luftfahrtforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

7 Verwendete Fachliteratur

Kimberlin, R.D.: Flight Testing of Fixed-Wing Aircraft. AIAA Education Series. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, VA, 2003

messWERK GmbH für Mess- und Anzeigetechnik: Abschlussbericht zum Vorhaben Dezentralisiertes kontextsensitives Messsystem zur Flugerprobung (DeKoM).

Förderkennzeichen: 20Q1706A. LuFo V-3, 2021

Technischen Universität Braunschweig, Institut für Flugführung: Abschlussbericht zum Vorhaben Dezentralisiertes kontextsensitives Messsystem zur Flugerprobung (DeKoM).

Förderkennzeichen: 20Q1706B. LuFo V-3, 2021

Yang, T.: Telemetry Theory and Methods in Flight Test. 1st Edition. National Defense Industry Press, 2021

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht	
3. Titel Abschlussbericht Intelligente Bodenstation für Flugerprobung und Forschung - Teilvorhaben Display und Server (DS)		
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Bestmann, Ulf; Dekiert, Andreas; Sandvoß, Carl-Simon	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.04.2024	
	6. Veröffentlichungsdatum	
	7. Form der Publikation Dissertation	
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig - Fakultät 4 - Maschinenbau - Institut für Flugführung	9. Ber.-Nr. Durchführende Institution	
	10. Förderkennzeichen 20Q1934B	
	11. Seitenzahl 47	
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) BMWK	13. Literaturangaben 4	
	14. Tabellen 3	
	15. Abbildungen 9	
16. DOI (Digital Object Identifier)		
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Technische Informationsbibliothek – Deutsche Forschungsberichte		
18. Kurzfassung Dieses Dokument ist der Abschlussbericht des Instituts für Flugführung (IFF) der Technischen Universität Braunschweig für das LuFo VI-1-Teilvorhaben Intelligente Bodenstation für Flugerprobung und Forschung (iBos) – Display und Server (DS) für den Berichtszeitraum vom 01.05.2021 bis zum 30.04.2024.		
19. Schlagwörter Bodenstation, Flugerprobung, Telemetrie		
20. Verlag Technische Informationsbibliothek – Deutsche Forschungsberichte	21. Preis	

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2445894-3